



# L'arc andésitique paléogène des Alpes occidentales : pétrologie, volcanologie, signification géodynamique

Jean Dominique Giraud

## ► To cite this version:

Jean Dominique Giraud. L'arc andésitique paléogène des Alpes occidentales : pétrologie, volcanologie, signification géodynamique. Volcanologie. Université Nice Sophia Antipolis, 1983. Français. NNT : . tel-00807465

**HAL Id: tel-00807465**

**<https://theses.hal.science/tel-00807465>**

Submitted on 3 Apr 2013

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

No 247

83NICE [66] D4302

Jean-Dominique GIRAUD

M 3

L'ARC ANDÉSITIQUE  
PALÉOGÈNE  
des  
ALPES OCCIDENTALES

- Pétrologie
- Volcanologie
- Géodynamique

B.U SCIENCES NICE  
TEL: 93.52.99.99

DATE RETOUR

Thèse de Doctorat  
ès Sciences

1983

UNIVERSITÉ DE NICE

CENTRE DE PÉTROLOGIE

LABORATOIRE DE PÉTROLOGIE MINÉRALOGIE

ER Stabilité-Réactivité des Minéraux



B.U. NICE - SCIENCES



D

009 2014848



## R E S U M E

Les Alpes Occidentales ont été le siège, au Paléogène, d'un volcanisme andésitique dont l'autochtonie est actuellement établie.

Les formations volcaniques jalonnent l'arc alpin, en position externe: (Thônes, Taveyanne, Saint-Antonin, Barrême, région de Nice, Estérel), ou interne (Biellese, Canavese en Italie du Nord).

Dans le contexte de collision entre les plaques Européenne et Sud Alpines, le domaine océanique Piémontais s'est semblé -t- il comporté à la manière d'un océan sialique et le volcanisme calco - alcalin s'est manifesté à la faveur d'une double subduction du matériel océanique. L'entraînement de croûte continentale sialique dans l'enfoncement de domaine océanique pourrait alors expliquer l'enrichissement en Potassium des magmas andésitiques qui se sont épanchés de part et d'autre de la chaîne.

## A B S T R A C T

A calc - alkaline volcanism took place, during the Paleogene, in the Western Alps (Thônes, Taveyanne, Saint - Antonin, Barrême, Nice area and Esterel Massif), in there foreland and in Northern part of Italia ( Biella area and Canavese).

The volcanic formations autochtony is now admitted. The volcanism, especially the explosive one has deposited large quantity of pyroclastic material.

During the collision phenomena between the European and South Alpine plates, the Piemont Ocean took place of an "sialic ocean".

Here is presented a geodynamical pattern for a better alpine volcanism understanding in wich the driving of sialic material in the double subduction of "Piemont Ocean" can explain the K - enrichment of andesitic magmas.

Mots clés : Arc , andésites , Alpes Occidentales, chaîne alpine, collision, océan calco - alcalin, paléogène, sub - alpin, Italie du Nord.



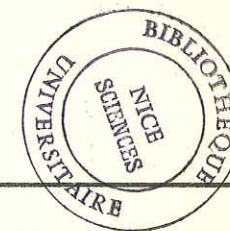
Jean-Dominique GIRAUD

L'ARC ANDÉSITIQUE  
PALÉOGÈNE  
des  
ALPES OCCIDENTALES

- Pétrologie
- Volcanologie
- Géodynamique

Thèse de Doctorat  
ès Sciences

1983



UNIVERSITÉ DE NICE

CENTRE DE PÉTROLOGIE

LABORATOIRE DE PÉTROLOGIE MINÉRALOGIE

ER Stabilité-Réactivité des Minéraux



T H E S E

présentée

A LA FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES DE

L'UNIVERSITE DE NICE

PAR

Jean-Dominique GIRAUD

pour obtenir

le grade de DOCTEUR ES-SCIENCES

L'ARC ANDESITIQUE PALEOGENE DES ALPES OCCIDENTALES  
PÉTROLOGIE - VOLCANOLOGIE - SIGNIFICATION GEODYNAMIQUE

Soutenue le 20 DECEMBRE 1983 devant la Commission d'Examen :

G.TURCO,	Professeur à l'Université de Nice	PRESIDENT
R.BROUSSE,	Professeur à l'Université de Paris Sud Orsay	EXAMINATEUR
J.DIDIER,	Professeur à l'Université de Clermont II	EXAMINATEUR
J.LEMOINE,	Directeur de Recherche CNRS, Université de Grenoble I	MEMBRE
J.P. PUPIN,	Dr.es-Sciences, Maître-Assistant, Université de Nice	MEMBRE
R.CASANOVA,	Professeur à l'Université de Nice	MEMBRE
J.POLVECHE,	Professeur à l'Université de Nice	MEMBRE

THESE NICE 1983 (66)  
D 4902

Ce travail a été effectué, pour les missions sur le terrain, avec le concours du Comité Doyen Lépine de la ville de Nice et grâce à l'aide du Conseil Général des Alpes Maritimes que nous tenons à remercier bien vivement.

Avant Propos

Je remercie d'abord le Professeur Turco de m'avoir accueilli dans son Laboratoire et de m'avoir permis de mener à bien cette étude. Monsieur R. Brousse a bien voulu juger de ce travail et me faire bénéficier de sa grande expérience du volcanisme. Je lui en suis très reconnaissant. Monsieur Jean Sidre m'a fait découvrir les grès de Tareyenne du pèlerin de Thones et a consacré quelques jours de vacances à me conduire sur le terrain. Qu'il en soit remercié. Monsieur Marcel Lemière m'a conseillé en ce qui concerne l'hypothèse géodynamique concernant le volcanisme tertiaire Alpes. Son avis m'a été précieux. Monsieur Roger Casanova s'est intéressé à cette étude et m'a conseillé sur le terrain, en particulier dans l'Estérel et dans le synclinal de Saint-Antoine. Je le remercie de sa participation au jury. Jean Pierre Pujos a toujours été un interlocuteur disponible et je le remercie de m'avoir initié à sa méthode par la typologie du Tirose. Monsieur Jean Polrache a été l'un de mes maîtres nîçois. Sa présence dans mon jury de thèse est une juste continuation de l'époque où j'étais l'un de ses jeunes étudiants. Je le remercie cordialement de participer à ce travail. Hubert Gimenez a réalisé la plus grande partie des analyses chimiques consignés dans ce mémoire.



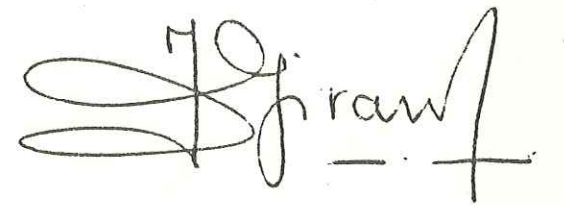
Je tiens à témoigner de la qualité de son travail.  
Henri Bellon a réalisé de nombreuses datations absolues  
des andésites et roches associées. Il m'a accompagné sur  
le terrain pour prélever lui-même l'échantillon. Ces  
résultats m'ont été précieux. Bernard Bonni  
m'a conseillé pour ce travail. J'ai eu avec lui  
de fructueuses discussions scientifiques. Je l'associe  
amicalement à cette étude. Alfredin Pierre Perlet  
m'a efficacement secouru à la microsonde  
électronique de Montpellier. Je le remercie pour  
sa disponibilité et son honnêteté scientifique.  
Alfredin François Berlandi a effectué les  
premier polissage microsonde. Je le remercie  
pour sa rapidité d'exécution et le sérieux de  
ses réalisations. Claude Robin m'a confié de  
nombreux échantillons du Mexique. Qu'il en  
soit remercié cordialement. Madame Cyprien  
a montré une fois de plus son efficacité en  
réalisant la dactylographie du manuscrit. Son aide  
m'a été précieuse. Pauline Tiber, secrétaire au  
Laboratoire s'est toujours montrée patiente et disponible  
devant tous les problèmes administratifs que l'on peut  
avoir à résoudre dans le cadre d'une telle recherche.

Je tiens enfin à remercier mes amis de  
l'Association de Naturalistes de Corse qui m'ont fait découvrir  
lorsque j'étais étudiant débutant la richesse de notre faune  
végétale.

Que tous ceux qui, de près ou de loin ont contribué  
à la réalisation de ce travail aient aussi leur place  
dans une liste d'amis qui serait trop longue.  
Parmi eux se trouve Michel Camareri que  
je tiens à associer à la phase finale de  
cette thèse. Je le remercie bien cordialement.

Une place toute particulière sera  
faite à mon épouse et à mes enfants. Je les  
remercie pour leur affection et leur patience.

Ce mémoire leur est dédié. Ils me  
pardonneront ainsi, j'espère, le temps que  
je n'ai pu leur consacrer.

J. Girault



## TABLE DES MATIERES

----- : -----

## CHAPITRE ( I ) INTRODUCTION ET BUTS DU TRAVAIL

## Introduction

présentation du sujet	3
situation géographique de l'étude	
historique des travaux antérieurs	5
Les problèmes en suspens	7
Les buts du travail	8

## CHAPITRE (II) ETUDE GEOLOGIQUE

## Présentation du contexte géologique des manifestations volcaniques paléogènes des Alpes Occidentales

+ situation des différentes provinces et districts	11
la province liguro - provençale	11
la province sub -alpine méridionale	16
la province du Champsaur	16
la province helvético - savoyarde	17
+ position des différentes manifestations dans le contexte des structures alpines	19
les manifestations volcaniques méridionales	19
les manifestations volcaniques septentrionales	19

## Etude géologique et paléovolcanologique des formations volcaniques paléogènes des Alpes Occidentales

+ l'âge des formations	20
+ étude géologique détaillée des différentes manifestations volcaniques province par province	26

- La province liguro - provençale	26
Cap d'Ail	
Biot	29
Antibes	36
Saint Vallier	44
Estérel central (Estérellites)	50
- La province sub-alpine méridionale	55
Saint Antonin	63
Barrême	71
- La province du Champsaur	75
- La province helvético - savoyarde	81
Taveyenne	81
Cluses - Arâches	83
Thônes	89
Signification géodynamique du volcanisme paléogène péri - alpin occidental	
Existence d'un "arc volcanique" continu :	118
+ position structurale des volcans par rapport à la chaîne	118
+ analogies de milieu de mise en place	121
+ volcanisme paléogène et tectonique des plaques	122
+ ébauche d'un modèle de mise en place du volcanisme	128
Comparaison entre le volcanisme paléogène des chaînes sub-alpines et ce lui, d'âge comparable, connu en méditerranée Occidentale et dans les Alpes Internes:	
+ La Sardaigne	131
+ La Corse	133
+ Le Piémont (province de Biella)	134

## CHAPITRE ( I I I ) PETROGRAPHIE

## MINERALOGIE CRISTALLOCHIMIE du Volcanisme

Pétrographie des manifestations volcaniques paléogènes du domaine péri - alpin occidental:

+ La province liguro - provençale	138
- manifestations pyroclastiques ou épicroclastiques	138
- manifestations effusives ou sub - volcaniques	146
- les enclaves homoéogènes	157
- les formations pneumatolytiques ou hydrothermales	163

+ La province sub - alpine méridionale	165
- Le synclinal de St. Antonin	165
Les pyroclastites	165
Les lahars	167
Les laves	167
- Le synclinal de Barrême	170
Les galets andésitiques	171
Le grauwaacke de Laubre	171
+ La province du Champsaur	173
+ La province helvético - savoyarde	175
- les grés riches en matériel volcanique	175
- les tuffisites	177
- les laves	177
+ Signification de la diversité des roches rencontrées	183
- caractérisation pétrographique Q-A-P	183
- analogies entre provinces	183

Minéralogie et cristallochimie des manifestations plutoniques et volcaniques du magmatisme paléogène des Alpes Occidentales:

+ Les provinces méridionales (Liguro - Provençal et subalpin méridional)	186
- les plagioclases	186
- les feldspaths potassiques	194
- le quartz	195
- les pyroxènes	195
- les olivines	197
- les amphiboles	201
- les micas	212
- le grenat	213
- les oxydes	214
- les minéraux accessoires : le Zircon	216
+ L'ensemble septentrional (Champsaur, Taveyenne)	224
- les plagioclases	224
- les pyroxènes	226
- les amphiboles	230
- les oxydes	230
- les accessoires : le Zircon	234
+ Analogies et différences entre provinces	236



Données nouvelles sur les roches volcaniques apparentées aux manifestations paléogènes des Alpes Occidentales.

+ Les porphyrites d'Alghero (Sardaigne)	237
+ L'ignimbrite de Capu Biancu (Corse)	239
+ Les andésites et dacites du Biellese (Piémont, Italie)	241

Conclusion concernant l'étude pétrographique et minéralogique	243
---	-----

CHAPITRE ( I V ) CARACTERISATION MAGMATIQUE ET PETROGENESE DES  
MANIFESTATIONS VOLCANIQUES ET PLUTONIQUES  
PALEOGENES DES ALPES OCCIDENTALES  
SIGNIFICATION GEODYNAMIQUE

Les provinces méridionales	247
+ éléments majeurs	247
+ variations durant la différenciation	259
+ zonation spatiale des caractères géochimiques	266
+ éléments en traces	275
+ géochimie comparée	287
+ géochimie isotopique	289

La province helvético - savoyarde	
+ les éléments majeurs	291
+ l'altération des roches	300
+ aperçu sur les éléments en traces	303

Petrogenèse des manifestations volcaniques et plutoniques des manifestations volcaniques et plutoniques paléogènes des Alpes Occidentales:

+ Les provinces méridionales	304
- la cristallisation fractionnée	308
- le problème de la recherche du magma parental	311
- les conditions physiques de la différenciation	315
- les relations pyroclastites - laves	

+ La province helvético - savoyarde	337
-------------------------------------	-----

Origine des laves calco - alcalines paléogènes des Alpes Occidentales

+ Les provinces méridionales	340
+ Les provinces septentrionales	344

Signification géodynamique du volcanisme calco - alcalin paléogène des Alpes Occidentales

R E S U M E D U M E M O I R E

Conclusions générales	353
-----------------------	-----



## CHAPITRE (I)

### INTRODUCTION ET BUTS DU TRAVAIL

#### A) INTRODUCTION.

1°) PRESENTATION DU SUJET

2°) SITUATION GEOGRAPHIQUE DE L'ETUDE

3°) HISTORIQUE DES TRAVAUX ANTERIEURS

#### B) LES PROBLEMES EN SUSPENS

#### C) BUTS DU TRAVAIL



## A) INTRODUCTION.

### 1°) PRESENTATION DU SUJET.

On connaît depuis longtemps, à la périphérie de l'arc alpin, des roches volcaniques calco-alcalines que les géologues ont toujours assimilées à des produits remaniés d'un volcanisme dont les points de sortie n'ont jamais été trouvés.

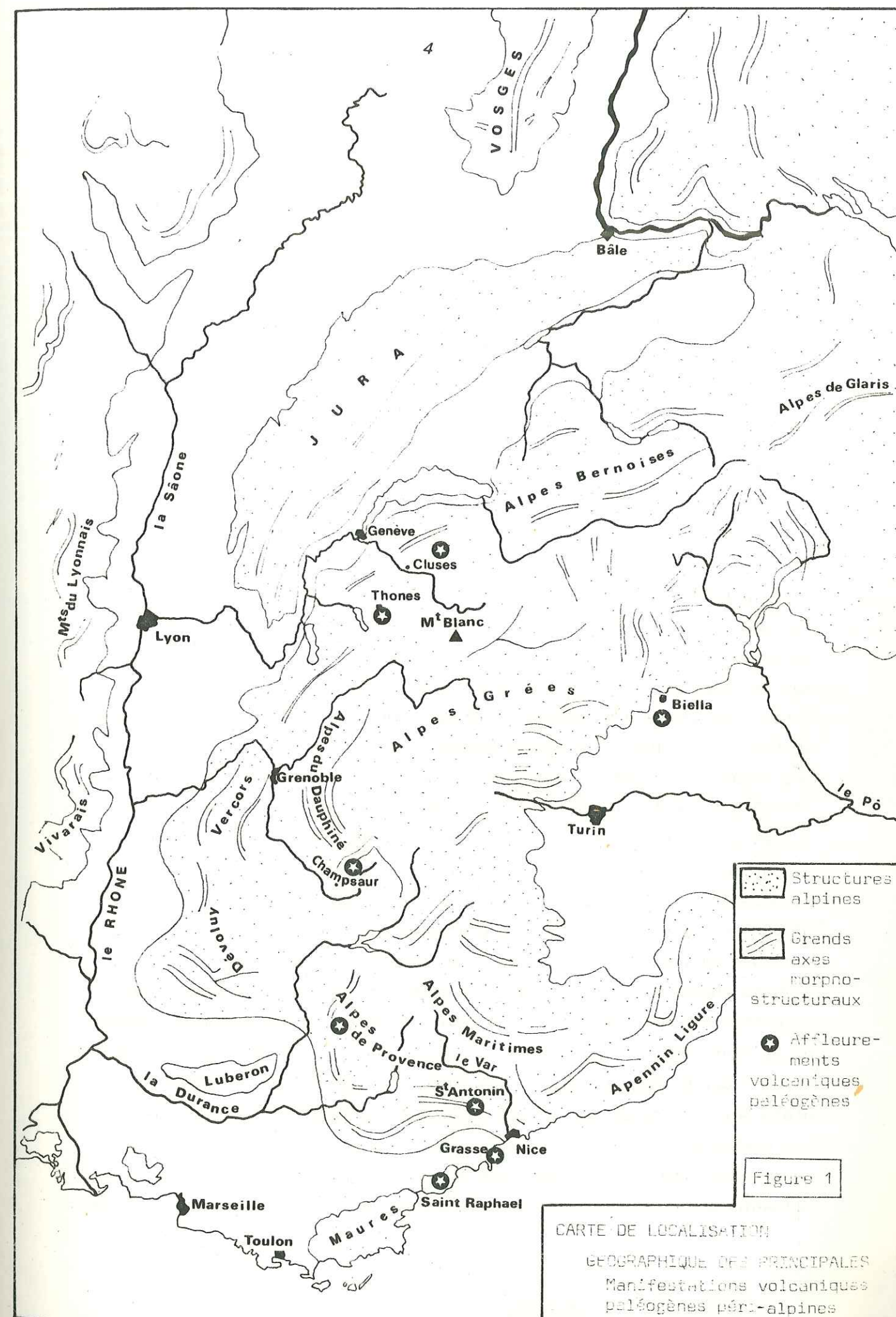
Ces formations, observées ici ou là par de nombreux auteurs n'ont pas, semble-t-il, suscité l'intérêt des tectoniciens et des géodynamiciens.

Il convient, cependant, d'en montrer l'unité et de mettre en évidence l'importance et la signification de cet événement volcanique dans l'histoire de la chaîne alpine.

### 2°) SITUATION GEOGRAPHIQUE. (Fig.1)

Notre étude a porté tout d'abord sur les formations méridionales de la région niçoise, des chaînes sub-alpines méridionales, et du massif de l'Estérel. Les manifestations envisagées s'observent dans le secteur de Biot, Antibes, Villeneuve-Loubet et Cap d'Ail (région niçoise), dans la région de Saint-Antonin et de Barrême (chaînes sub-alpines) et entre Saint-Raphaël et Agay (massif de l'Estérel). Quelques petits pointements disséminés s'ajoutent à ces centres éruptifs.

Plus au Nord, ce volcanisme s'étend de la frontière suisse (secteur de Taveyanne) jusqu'à la région de Thônes en Haute Savoie, en passant par la zone comprise entre Arve et Giffre (Cluses, Arâches et Flaisne). Il est aussi représenté par les grès à éléments volcaniques du Champsaur, en particulier dans le secteur du Vieux Chaillol. On peut peut-être lui rattacher un type de formation volcanique très localisé que l'on observe dans le secteur de Forcalquier (région de Manosque) sous la forme de cinérites déposées en milieu lacustre, et d'âge sensiblement identique à toutes les autres manifestations étudiées.





### 3°) HISTORIQUE DES TRAVAUX ANTERIEURS.

Seuls seront pris en compte, dans ce chapitre, les travaux déterminants pour la connaissance du sujet qui nous préoccupe. Les travaux ponctuels, trop abondants, seront cités au fur et à mesure du développement.

En ce qui concerne le secteur méridional des chaînons sub-alpins et de la région niçoise, les premiers travaux remontent à la seconde moitié du XIXe siècle, période à laquelle Chambrun de Rosemont signale des gîtes éruptifs à labradorites. Un peu plus tard, Léon Bertrand situe les éruptions du secteur de Villeneuve-Loubet à l'époque miocène et propose la dénomination d'andésites pour les laves de la région. Ce même auteur remarque les roches volcaniques de la région de Saint-Antonin qui, selon lui, s'apparentent à celles du littoral et présentent une origine commune. Ces premiers travaux soulignent déjà l'intérêt de ce volcanisme qui suscitera, par la suite, de nombreuses controverses. C'est ainsi qu'en 1906 le Commandant Caziot tente une approche minéralogique et géologique qui le conduit à envisager trois éruptions différentes d'âge burdigalien à pontien complétant ainsi les reconstitutions de Chambrun de Rosemont et Potier, partisans respectivement d'âges éocène supérieur et oligocène à quaternaire. A partir de cette époque, la controverse concernant l'âge des éruptions allait occuper les chercheurs. Ch. Depéret et A. Ghebbard (1902) concluent à un âge miocène inférieur à supérieur pour les éruptions du secteur de Biot, Vence et Villeneuve-Loubet. Suit une longue période durant laquelle on oublie ce volcanisme. En 1938, A.F. de Lapparent propose un âge oligocène pour les affleurements subalpins du synclinal de Saint-Antonin et un âge miocène pour ceux de Biot et Antibes. Il entrevoit une analogie entre les roches éruptives rencontrées dans certains grès du Champsaur et celles de Saint-Antonin. En 1952, J. Goguel envisage l'autochtonie des roches volcaniques du synclinal de Saint-Antonin et il confirme les analogies avec les roches du Champsaur. Il est suivi en cela par B. Biju-Duval qui, en 1953, réalise la première étude complète sur les formations volcaniques de Saint-Antonin. Ces travaux sur les chaînons subalpins méridionaux relancent les études sur l'avant-pays. Ainsi, en 1954, J. Bourcart et F. Ottman proposent pour les tufs volcaniques de la région de Nice un âge pliocène inférieur. Une période

de mise en place anté-burdigalienne est proposée par L. Ginsburg en 1956 alors que J. Bourcart, en 1959, conclut à un âge post-plaisancien. Ce même auteur, suivi par P. Robert et M. Siffre (1960) confirme l'âge pliocène des éruptions. R. Brousse (1961) dans sa synthèse sur le volcanisme néogène et quaternaire de la France met en évidence le caractère alumineux franc des laves andésitiques du district ligure. En 1963, M. Siffre "fixe" au Pliocène la période d'activité volcanique. En 1963, J. Vernet en compagnie de J. Bourcart, L. Damiani et Y. Le Calvez apportent un élément nouveau en découvrant des marnes à faune miocène inférieur dans les tufs volcaniques de Cap d'Ail. En 1964, L. Ginsburg réaffirme sa position à l'encontre des partisans de l'âge pliocène. Selon lui, les tufs datent de l'Oligocène ou du Miocène inférieur. J. Vernet, en 1964, propose un âge miocène inférieur pour le volcanisme de Saint-Antonin qui s'apparente, selon lui, à celui du littoral niçois. En 1969, A. Blondeau, P. Bordet et L. Ginsburg découvrent des galets d'andésite dans les marnes de l'Eocène supérieur du secteur de Saint-Paul de Vence. Cette observation les conduit à envisager l'existence d'éruptions datant de l'Eocène supérieur, conclusion à laquelle étaient parvenus déjà S. Duplaix et M. Genessaux (1966) après avoir découvert de l'augite verte dans des sables éocènes. En 1971, J. Bodelle présente une étude du synclinal de Saint-Antonin dans laquelle il décrit les formations volcaniques comme des lahars mis en place à l'Eocène inférieur ou moyen. En 1971, à une période où tous les âges du Tertiaire ont été proposés, H. Bellon et R. Brousse publient les premières datations radiochronologiques (Potassium-Argon) oligo-miocènes des andésites du district ligure. La même année, F. Irr, observe dans des blocs d'andésite, inclus dans la molasse miocène du bassin de Vence, des structures symptomatiques, selon lui, d'une mise en place synsédimentaire des produits volcaniques. En 1973, le Laboratoire de Pétrologie-Minéralogie de l'Université de Nice entreprend de réétudier les formations éruptives récentes du massif de l'Estérel représentées par les estérellites ou porphyre bleu de l'Estérel. Selon les datations de M. Roubaud et de ses collaborateurs (1970) le porphyre bleu de l'Estérel daterait du Crétacé supérieur. Un âge tertiaire sera proposé par J.C. Baubron (1975) et H. Bellon (1978). En 1975, la parenté entre l'estérellite et les andésites de la région niçoise,



déjà pressentie par J.C. Baubron au vu de la géochimie du Rubidium et du Strontium est précisée à l'aide de nouvelles études pétrologiques et minéralogiques. J.D. Giraud élargit ainsi le district ligure, défini par R. Brousse, à l'Estérel central. C'est à cette période que se situe la conception du présent travail. La zone méridionale dont nous venons de parler n'était pas la seule à faire l'objet de recherches. Un volcanisme de même âge et de même caractère était étudié dans les secteurs plus septentrionaux par le Professeur Vuagnat et ses élèves dans les célèbres grès de Taveyenne. En ce qui concerne la zone Nord, la controverse opposait surtout les partisans de l'autochtonie à ceux de l'allochtonie du matériel andésitique.

La controverse concernant l'âge s'est vite réduite et l'existence d'éruptions paléogènes a vite été admise. Nous citerons pour mémoire les travaux de P. Vuagnat (1943), de J. Martini (1968) et de J. Sawatsky (1975), ceux, plus récents, de G. Vitally (1980). Les travaux portant sur les andésites des grès mouchetés du Champsaur sont plus rares et seuls les travaux de P. Bellair (1957) et de S. Boeuf (1959) seront mentionnés ici.

## B) LES PROBLEMES POSES.

Au terme de l'énumération des principaux travaux déjà réalisés sur le volcanisme tertiaire des chaînes subalpines, un certain nombre de faits semblent éclaircis sinon établis. On entrevoit en particulier la possibilité d'existence, au Tertiaire, d'une vaste province volcanique dont les centres éruptifs auraient jalonné le futur arc alpin en voie de formation. A ce stade de la connaissance toutefois ceci demeurerait une simple hypothèse car nombre de problèmes restaient en suspens :

- \* l'âge du volcanisme
- \* l'autochtonie ou l'allochtonie des formations éruptives
- \* la nature exacte des formations volcaniques
- \* les analogies et les différences entre les divers affleurements du pourtour alpin

- \* la définition des caractères pétrologiques, minéralogiques et géochimiques des différentes manifestations du magmatisme
- \* la signification paléogéodynamique de ce volcanisme.

Il apparaissait alors nécessaire de tenter la synthèse des données afin de faire le point sur l'état des connaissances.

## C) LES BUTS DU TRAVAIL.

L'étude présentée ici se propose, dans un premier temps, de décrire et d'analyser les formations calco-alcalines tertiaires du pourtour alpin occidental dans leur contexte géologique. L'étude détaillée des principaux centres éruptifs permettra, par la suite, de tenter une reconstitution paléo-volcanologique où seront pris en compte la paléogéographie et la dynamique du volcanisme. Les connaissances nouvelles acquises par la minéralogie et la pétrologie des formations éruptives étudiées seront alors exposées ainsi que les apports de l'étude géochimique de la distribution des éléments majeurs et en traces. L'ensemble de ces résultats nous permettra alors de présenter un modèle de mise en place du volcanisme dans le contexte de l'orogénèse alpine.



## CHAPI TRE (II)

### ETUDE GEOLOGIQUE

#### A) PRESENTATION DU CONTEXTE GEOLOGIQUE DES MANIFESTATIONS VOLCANIQUES PALEOGENES DES ALPES OCCIDENTALES

##### 1°) SITUATION DES DIFFERENTES PROVINCES ET DISTRICTS

##### 1a) Province (I) Liguro-Provençale

1a-1) Forcalquier

1a-2) Cap d'Ail

1a-3) Biot

1a-4) Saint-Vallier

1a-5) Saint-Raphaël (Estérel, central)

##### 1b) Province (II) Sub-Alpine Méridionale

II(1) Saint-Antonin

II(2) Barrême, Majastre

##### 1c) Province (III) du Champsaur

III (1) Vieux Chaillol

##### 1d) Province (IV) Helvético-Savoyarde

IV(1) Taveyanne

IV(2) Cluses, Arâches, Flaisne

IV(3) Thônes

##### 2°) POSITION DES DIFFERENTES MANIFESTATIONS DANS LE CONTEXTE DES STRUCTURES ALPINES

##### 2a) Les manifestations volcaniques méridionales

##### 2b) Les manifestations volcaniques septentrionales

**B) ETUDE GEOLOGIQUE ET PALEOVOLCANIQUE DES FORMATIONS VOLCANIQUES PALEOGENES**

1°) LE PROBLEME DE L'AGE DES FORMATIONS

2°) ETUDE GEOLOGIQUE DETAILLEE DES DIFFERENTES MANIFESTATIONS VOLCANIQUES PROVINCE PAR PROVINCE

**C) SIGNIFICATION GEODYNAMIQUE DU VOLCANISME PALEOGENE PERI-ALPIN OCCIDENTAL : EXISTENCE D'UN ARC CONTINU**

1°) POSITION STRUCTURALE ANALOGUE DES DIFFERENTES PROVINCES

2°) ANALOGIES CONCERNANT LE MILIEU DE MISE EN PLACE DES VOLCANITES (comparaison Thônes - Saint-Antonin)

3°) VOLCANISME PALEOGENE ET THEORIE DES PLAQUES

**D) COMPARAISON ENTRE LE VOLCANISME PALEOGENE DES CHAINES SUB-ALPINES ET CELUI, D'AGE COMPARABLE CONNU EN MEDITERRANEE OCCIDENTALE, ET LES ALPES INTERNES**

1°) LA SARDAIGNE

2°) LA CORSE

3°) LE PIEMONTE (Biellese)

**A) PRESENTATION DU CONTEXTE GEOLOGIQUE DU VOLCANISME PALEOGENE DES ALPES OCCIDENTALES.**

**1°) SITUATION DES DIFFERENTES PROVINCES ET DISTRICTS.**

**1a) La province Liguro-Provençale (P.I)**

Elle correspond à l'ancien district ligure défini par R. Brousse auquel s'ajoutent les affleurements de l'Estérel central (J-D. Giraud, 1975) et ceux encore plus occidentaux du bassin de Forcalquier (F. Arbey et al., 1976). Les principaux centres d'émission que nous allons décrire ont été figurés sur la carte de la Figure 2.

**1a - 1) Province (I) district (Ia) de Forcalquier.**

Les témoins de l'activité volcanique paléogène sont représentés, dans ce district, par deux bancs de cinérites très altérées interstratifiées dans les calcaires blancs à faciès lacustre du bassin tertiaire de Forcalquier. L'affleurement le plus représentatif se situe sur la route de Forcalquier, à environ 150m après le carrefour avec la route de Saint Martin des Eaux (Fig.3). Les cinérites affleurent en deux niveaux diffé-

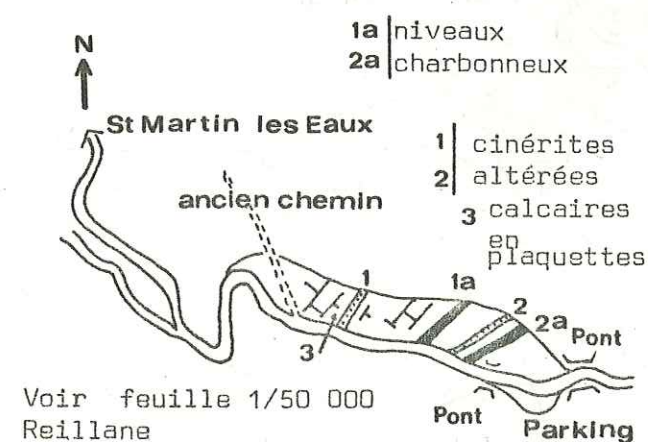
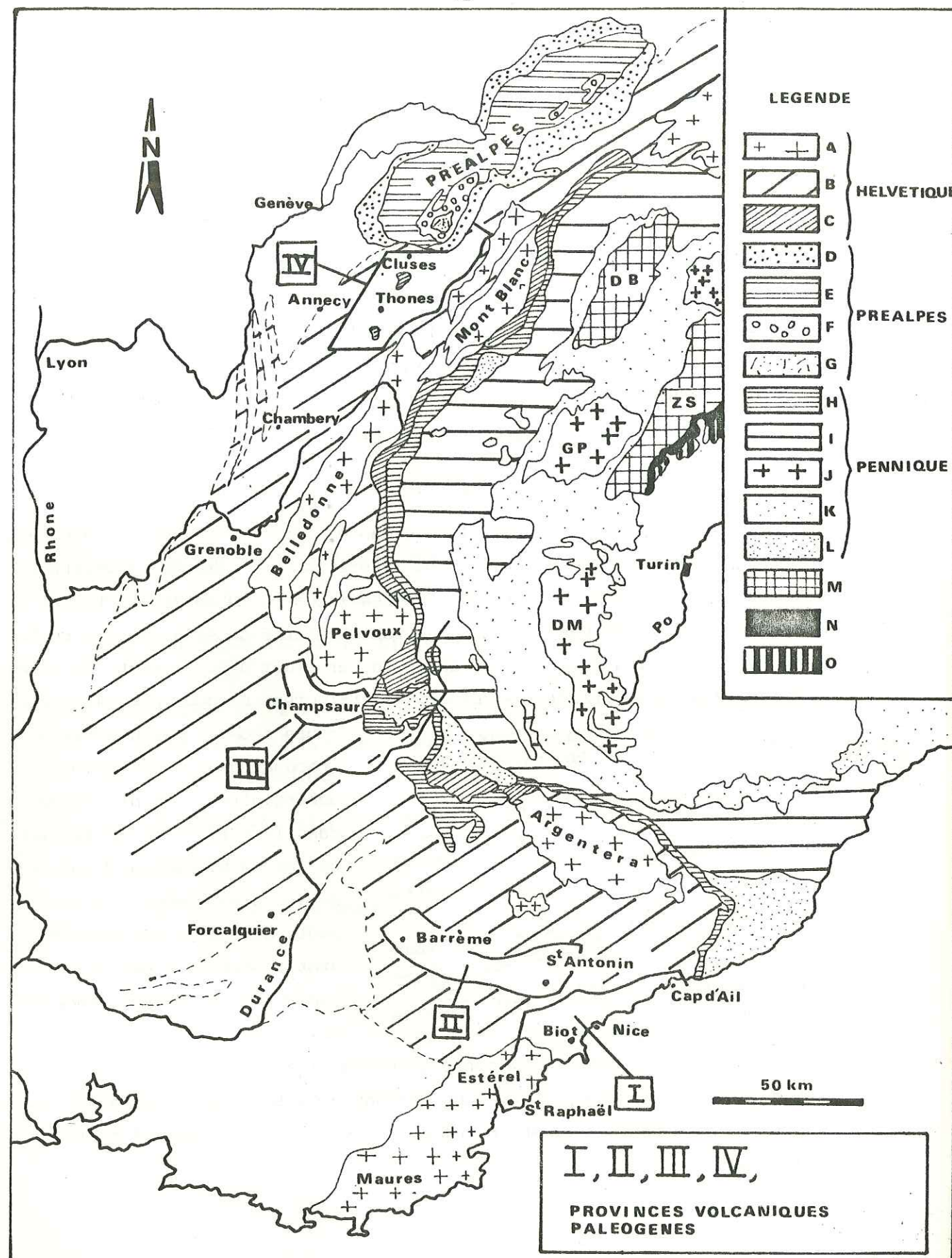


Figure 3

rents séparés par une passée charbonneuse. Au-dessus du second niveau, le plus élevé dans la série stratigraphique, un second niveau charbonneux affleure au niveau d'un petit pont, au bout d'une aire de stationnement. L'âge de ces cinérites est réputé Stampien (F. Arbey et al., 1976).

Ces deux bancs de cinérites constituent un niveau repère dans le bassin tertiaire de Forcalquier, et nous verrons plus loin le problème que pose cette manifestation volcanique oligocène vis-à-vis des autres formations qui font l'objet de l'étude.





Légende de la fig. (2), d'après G.Vitaly (1980) modifié.

A : massifs cristallins externes

Domaine B : couverture dauphinoise des massifs cristallins externes  
(massifs subalpins, etc...)

helvétique C : zone ultra-helvétique

D : nappes ultra-helvétiques

E : nappes des Préalpes médianes

F : nappe de la Brèche

G : flysch exotique des Gets

H : zone subbriançonnaise

I : zone briançonnaise

J : massifs cristallins internes

K : schistes lustrés

L : nappes de flysch à Helminthoïdes

M : austro-alpin

N : zone du Canavese

0 : zone d'Ivrée

(I) - province liguro provençale

(II) - province sub-alpine méridionale

(III) - province du Champsaur

(IV) - province helvético-savoyarde

Figure 2 : les provinces volcaniques paléogènes des Alpes Occidentales



1a - 2) Province (I) district (I-1). La Zone de Cap d'Ail (Fig.4).

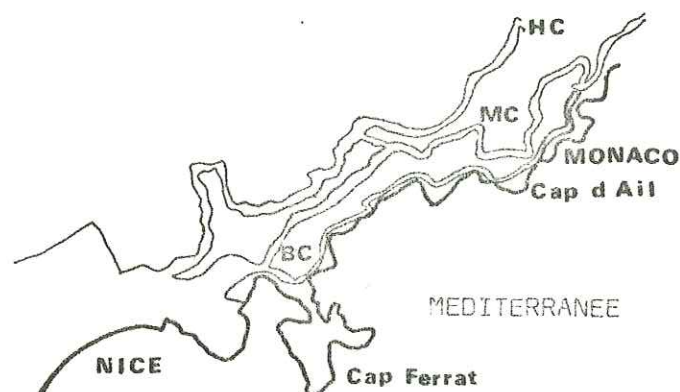


Figure 4 : le district de Cap d'Ail 5 km

Les produits volcaniques affleurent en bord de mer, dans les secteurs de la plage Mala et entre cette dernière et le nouveau Port de Fontvieille. Longtemps considérés comme des conglomérats andésitiques provenant du démantèlement d'édifices actuellement immergés, ces niveaux correspondent, en réalité, à des lahars et des lambeaux de

nuées ardentes analogues à ceux qui seront décrits dans les districts voisins.

1a - 3) Province (I) district (I-2). La zone de Nice (Fig.5).

C'est le plus intéressant des districts méridionaux. On distingue un centre d'émission principal qui se situe à proximité du village de Biot et quelques petits pointements localisés : Antibes, Juan-les-Pins, Roquefort... correspondant à des filons, des lambeaux d'épanchements pyroclastiques ou des lahars (J-D. Giraud, 1978 ; H. Bellon et R. Brousse, 1971). Ces formations étaient jusqu'alors

considérées comme des conglomérats andésitiques et représentées sur les cartes géologiques à l'aide du symbole M<sub>α</sub>.

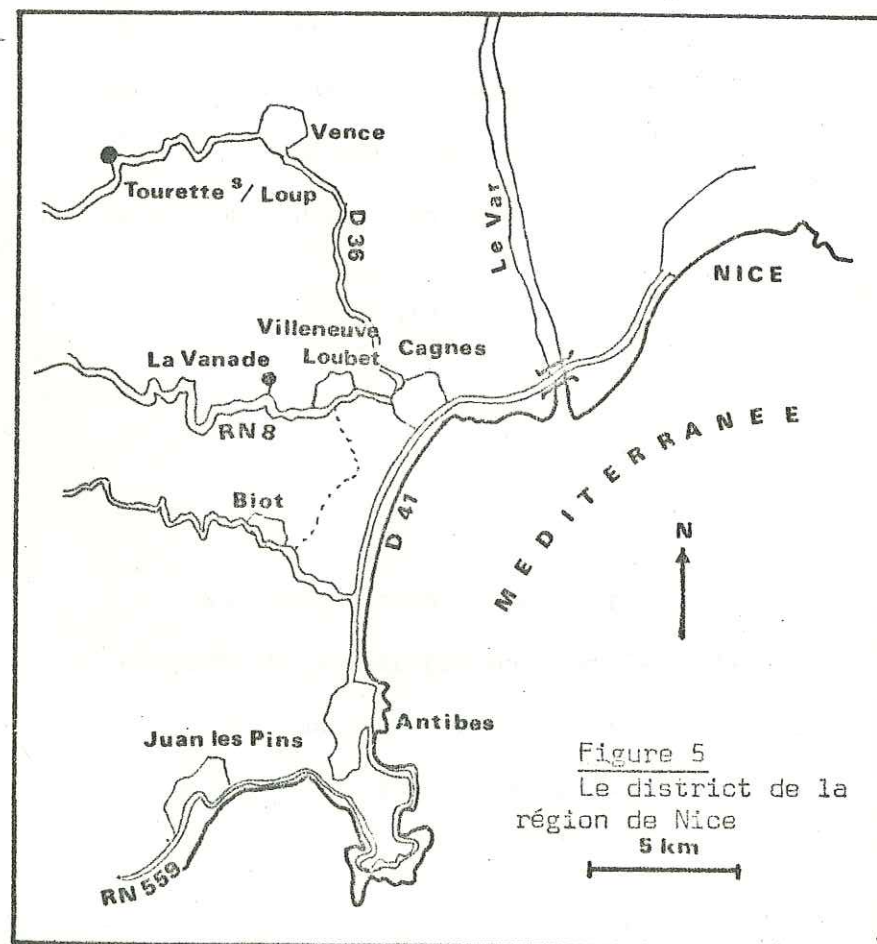


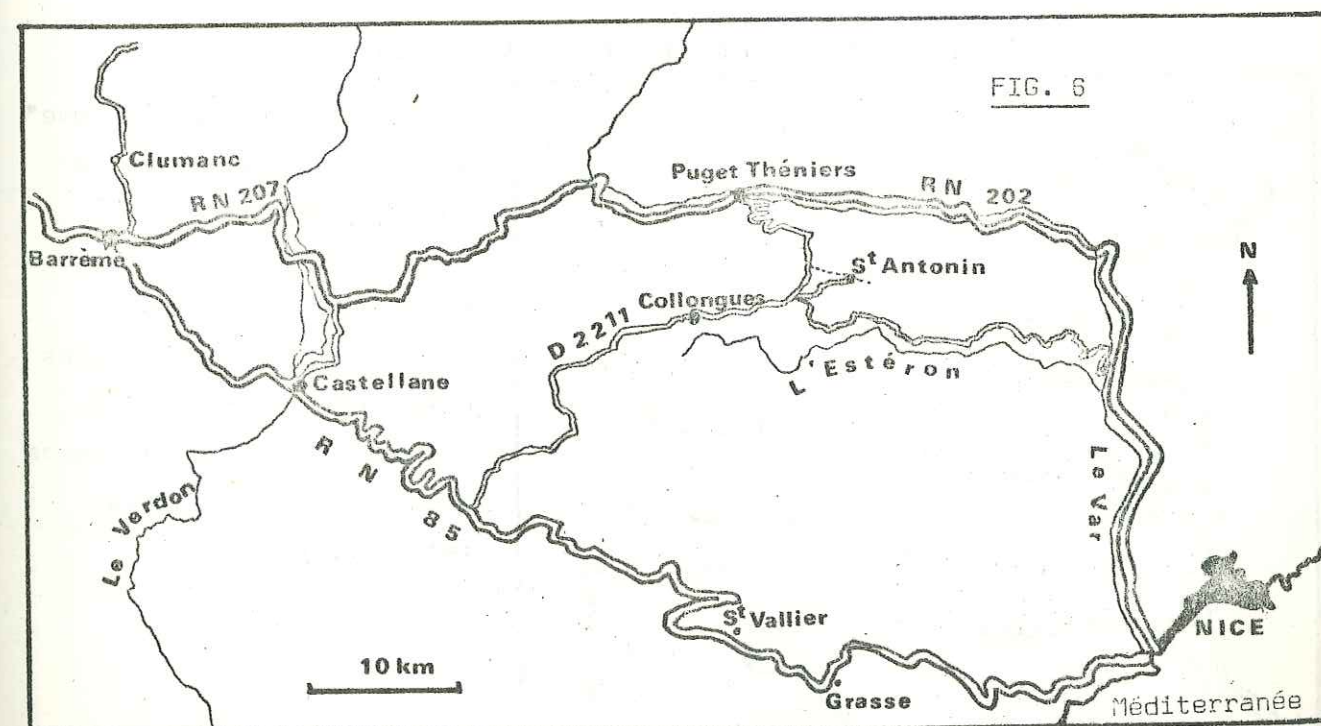
Figure 5  
Le district de la  
région de Nice  
5 km

1a - 4) Province (I) district (I-3). La zone de Saint-Vallier (Fig.6).

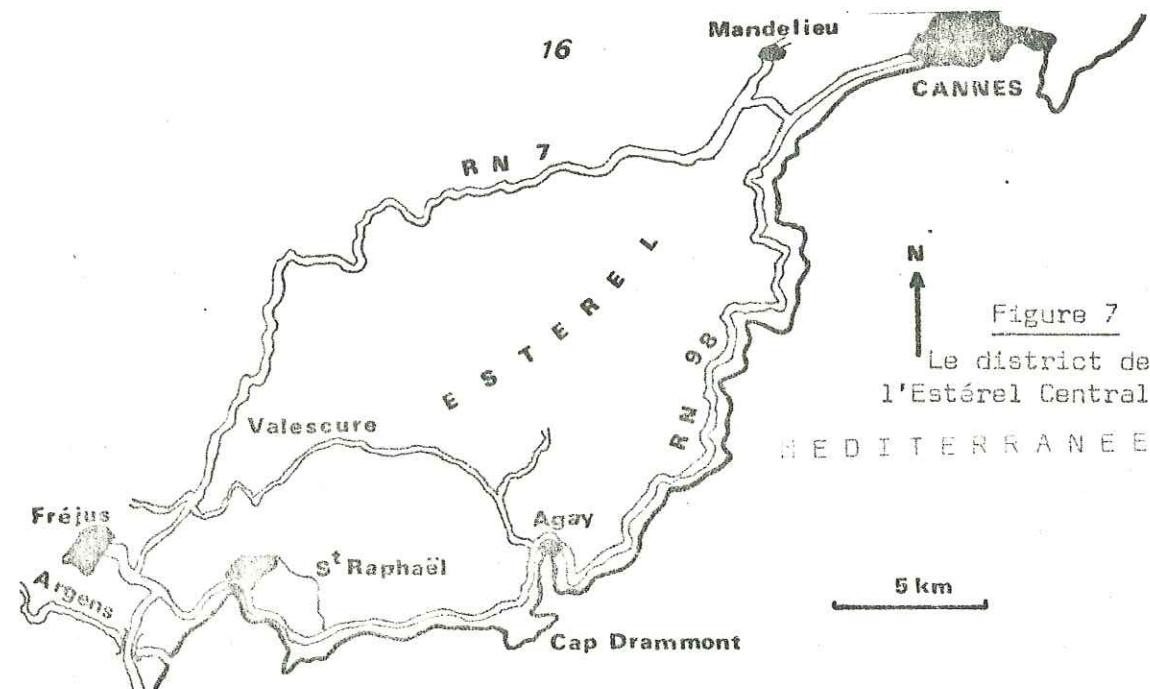
Bien que de taille modeste, sa situation au front des chaînons subalpins en fait le témoin le plus septentrional des manifestations volcaniques paléogènes de l'avant-pays alpin méridional (Province I). On peut y observer l'affleurement de la Villa-Maure et, plus à l'Est, le long de la R.N. 85, deux petits pointements très tectonisés de tuf andésitique. Il s'agit de lambeaux de lahars récemment étudiés par G. Christi (1982).

1a - 5) Province (I) district (I-4). La zone de l'Estérel central (Fig.7).

Le volcanisme paléogène est représenté dans la partie méridionale de l'Estérel central par des pointements de roches assimilables à des dacitoïdes jusqu'à présent connues sous le nom d'Estérellites (M. Lévy, 1898 ; P. Bordet, 1951) et décrites comme des microdiorites quartziques. Il s'agit de roches à mise en place sub-volcanique homologues d'andésites et de dacites à mésostase recristallisée. Elles recoupent les roches permienes du massif de l'Estérel (M. Boucarut, 1971 ; J-D. Giraud, 1975). Des roches de même type, mais très altérées, affleurent dans la terminaison orientale du massif des Maures. L'impossibilité de les dater par les méthodes radiochronologiques interdit une interprétation objective de leurs analogies avec les Estérellites de l'Estérel.



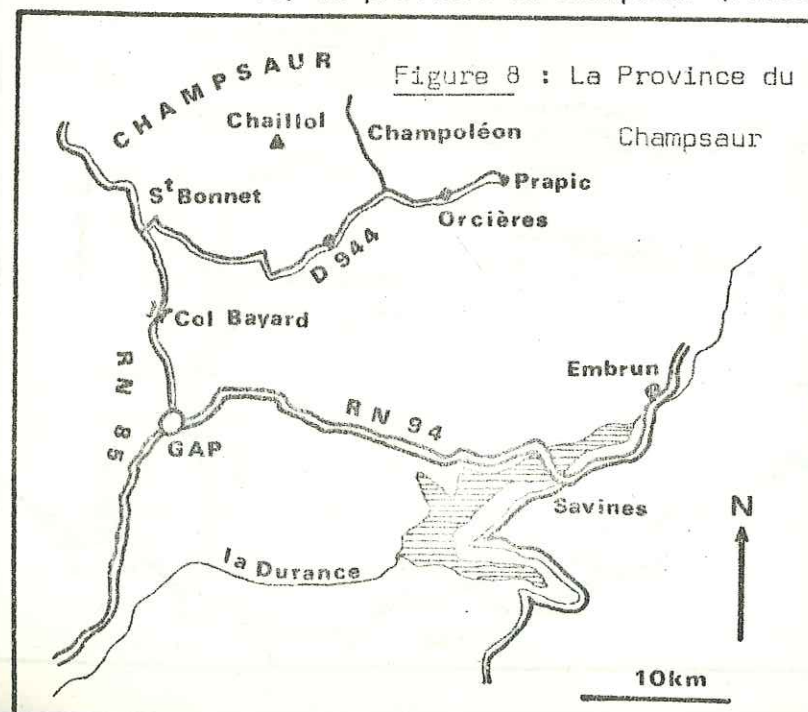




1b) La Province sub-alpine méridionale (P.II). (Fig.6)

Les affleurements volcaniques sont conservés au cœur des plis sub-alpins de couverture, orientés Est-Ouest (Synclinal de Saint-Antonin) ou Nord-Sud (Synclinaux de Barrême et de Majastre). Le district de Saint-Antonin (II-1) correspond à un volcan de grande taille dont les éruptions auraient alimenté en produits volcaniques les secteurs voisins du bassin de sédimentation paléogène. Certains auteurs (S. Boeuf, Y. Gubler, 1966) ont vu dans les formations du district de Barrême (II-2) des formations volcano-détritiques à faciès de fluxo-turbidites dévalant le plateau continental en direction des zones plus profondes du bassin. Il s'agit vraisemblablement de tufs et grauweekes marquant dans la sédimentation tertiaire et détritique l'évènement volcanique comme c'est le cas dans les bassins périphériques du type de celui de Majastre (S. Touré, 1981).

1c) La province du Champsaur (P.III). (Fig.8)



Le "volcanisme nummulitique" y est connu depuis les recherches de P. Bellair (1957). On observe dans le secteur du Vieux Chaillol une puissante série de grès oligocènes riches en éléments volcaniques triasiques (diabases) et tertiaires (andésites).

Le métamorphisme alpin a oblitéré un grand nombre de caractères propres aux laves andésitiques, mais l'existence de véritables tufs soudés et de lapillis andésitiques moulant le matériel détritique (secteur de la Vénasque) permet de conclure à la contemporanéité du volcanisme et de la sédimentation des grès du Champsaur. A ces niveaux pyroclastiques francs s'ajoutent des faciès volcano-détritiques très particuliers qui s'apparentent à ceux récemment découverts dans les zones septentrionales de l'arc alpin occidental (Province P.IV) par J. Didier (1978) et décrites sous le nom de tuffisites. Il semble que dans le district du Chaillol la plus grande teneur en éléments volcaniques andésitiques s'observe au niveau du massif du Tourond et de la pointe Vénasque et que cette teneur diminue à l'Est et à l'Ouest de ce secteur suggérant ainsi l'existence d'un volcan proche du massif cristallin du Vieux Chaillol.

1d) La Province Helvético-Savoyarde (P.IV). (Fig.9).

1d - 1) Le district de Taveyanne (IV-1)

Il correspond à une zone particulièrement bien étudiée par les chercheurs de l'école Genevoise. L'alpage de Taveyannaz a donné son nom à la célèbre formation détritique à éléments volcaniques des "Grès de Taveyanne".

1d - 2) Le district d'Arâches-Flaine  
(autochtone de Cluses) (IV-2).

Bien étudiés par J. Martini (1968), les grès du secteur situé entre Arve et Giffre renferment d'abondants éléments andésitiques d'âge Paléogène interprétés jusqu'à présent comme des galets remaniés. Les études récentes ont montré qu'il s'agissait plutôt d'éjecta vitreux déposés à proximité immédiate des centres éruptifs (J-D. Giraud, J. Didier, 1981). Les principaux sites que nous avons étudiés se situent dans le massif de l'Arbaron et dans la chaîne des Grands Vans.



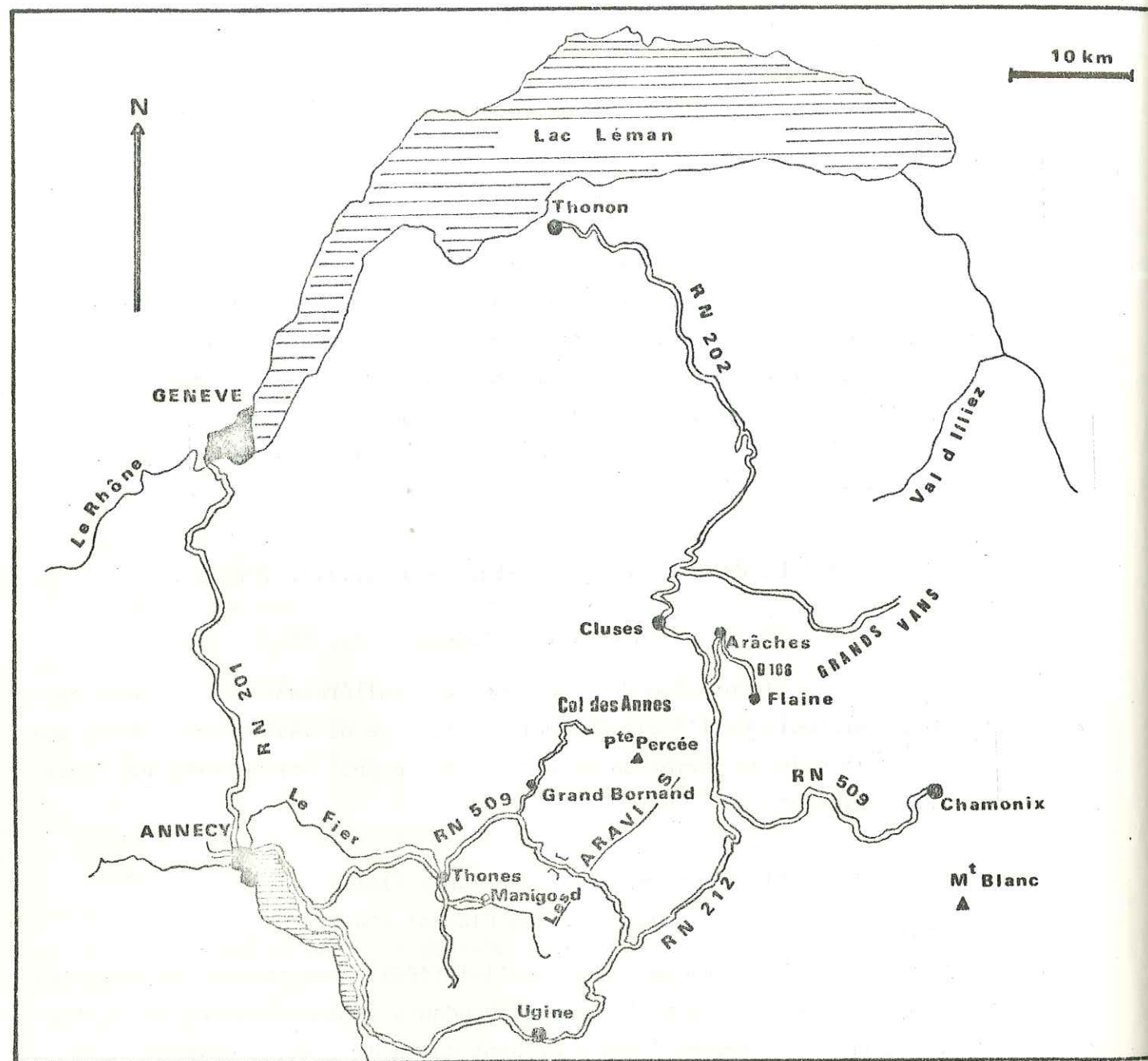


Figure 9 : Localisation géographique des affleurements de la Province helvético - savoyarde

#### 1d - 3) Le district de Thônes (IV-3).

Les formations volcaniques tertiaires affleurent au cœur du synclinal de Thônes qui occupe, vis-à-vis de la chaîne alpine une situation structurale analogue à celle du synclinal de Saint-Antonin. Un grand nombre d'éléments militent en faveur de l'autochtonie du volcanisme paléogène dans le bassin de sédimentation des grès du futur synclinal de Thônes et l'étude statistique de la teneur en éléments volcaniques conduit à envisager la présence d'un centre éruptif dans la zone méridionale du synclinal.

#### 2°) POSITION DES DIFFÉRENTES MANIFESTATIONS VOLCANIQUES AU SEIN DES STRUCTURES ALPINES. (voir Fig.2)

##### 2a) Les formations méridionales : Provinces (I), (II).

Les roches volcaniques étudiées affleurent dans l'avant-pays alpin (P.I) dont le socle cristallin autochtone est représenté par les massifs des Maures et de l'Estérel, et dans les chaînes sub-alpines méridionales (P.II) représentant structuralement la couverture décollée du massif externe de l'Argentera-Mercantour.

##### 2b) Les formations septentrionales : Provinces (III), (IV).

Les produits volcaniques sont conservés dans des bassins sédimentaires où se déposaient, au Paléogène, des formations détritiques presque essentiellement gréseuses (Grès du Champsaur et grès de Taveyenne). Là encore, le volcanisme s'est exercé à proximité des massifs cristallins externes représentés par le massif du Mont-Blanc (Province IV) et le massif du Pelvoux (Province III), et en position externe par rapport à ces massifs.

Remarque : Il est probable que la roche décrite par R.Barbier et R.Michel (1958) à la base du flysch des Aiguilles d'Arves appartienne au cycle volcanique que nous allons décrire. Le caractère très altéré de la roche et sa rétro-morphose totale rend impossible une approche d'interprétation. S'il pouvait être montré qu'il s'agit effectivement d'une andésite et que le flysch des Aiguilles d'Arves soit effectivement Paléogène, il y aurait alors une analogie certaine avec les formations que nous présentons.



## B) ETUDE GEOLOGIQUE ET PALEOVOLCANIQUE DES FORMATIONS VOLCANIQUES TERTIAIRES DES CHAINES SUB-ALPINES.

### 1°) LE PROBLEME DE L'AGE DU VOLCANISME.

L'âge du volcanisme qui nous intéresse a fait l'objet d'une controverse scientifique résumée dans le Tableau (I). Tous les âges de l'ère Tertiaire ont, en effet, été proposés par les auteurs pour ce volcanisme d'ampleur restreinte. Pour essayer de dégager de cette somme de données les âges les plus significatifs, il convient d'abord de s'intéresser aux méthodes de datation micropaléontologique et aux apports de l'étude géologique sur le terrain avant de prendre en compte les données de la radiochronologie. Dans les deux premières méthodes, deux types d'erreurs sont possibles : En ce qui concerne les âges micropaléontologiques se pose le problème des remaniements de faune très courants dans les formations détritiques grossières. Ceci incite à ne prendre en compte que les âges les plus récents. Il est délicat de rechercher un âge par simple corrélation stratigraphique. En effet, les nuées ardentes, les cinérites, les coulées volcaniques se mettent en place, le plus souvent, sur une topographie déjà structurée et les discordances sont nombreuses. Quant aux âges absolus, leur validité dépend essentiellement de l'état du matériau daté (fraîcheur, absence d'altération météorique, hydrothermale ou métamorphique). Les distorsions obtenues dans les âges absolus du volcanisme alpin résultent de la difficulté de trouver un matériau répondant à ces conditions.

EN CE QUI CONCERNE LES AGES MICROPALÉONTOLOGIQUES : Nous retiendrons celui qui a été attribué aux formations de marnes bleues dites "marnes priaboniennes" ou à leurs équivalents alpins (schistes à meletta) qui représentent le niveau daté le plus récent trouvé sous les formations volcaniques. Cet âge correspond au sommet de l'Eocène supérieur (M. Toumarkine et al., 1970) au vu des faunes planctoniques à globigérines confirmées par l'étude du nannoplancton calcaire dans le secteur de Saint-

		-55 MA	-38	-22.5	-5	-1.8
		EOCENE	OLIGOCENE	MIOCENE	PLIOQUA.	
Province I	I(a) Forcalquier					
	I(1) Cap d'Ail					
	I(2) Biot, Vence Villeneuve, Antibes	PO OG AB 50	35 JCB <sub>1</sub> BG 27, 26, 2 39	JB <sub>3</sub> JB <sub>2</sub> JB <sub>1</sub> AFI 22	JB <sub>1</sub> AFI 22	
	I(3) Saint-Vallier					
	I(4) Saint-Raphaël (Estérel central)	RO BOU 56	35 JCB <sub>1</sub> 26			
Prov. II	II(1) Saint-Antonin	RO JU 50	35 JCB <sub>1</sub> 26			
	II(2) Barrême					
	II(3) Majastre					
Prov. III	III(1) Chaillol (Massif du Champseur)					
Prov. IV	IV (1) Taveyenne	MA				
	IV (2) Cluses, Arrâches	MA				
	IV (3) Thones	SA				
	Symboles et abréviations utilisés dans le tableau	(ROU) M. BOUCARUT (1971) (CA) CAYIOT (1904) (CR) CHAMBRUN de ROSEMONT (1873) (DE) CH. DEPERET et al. (1902) (DF) D. FONTIGNIE (1977) (OG) S. DUPLAIX et al. (1966) (FO) D. FONTIGNIE (1981)	(ROU) M. BOUCARUT (1971) (CA) CAYIOT (1904) (CR) CHAMBRUN de ROSEMONT (1873) (DE) CH. DEPERET et al. (1902) (DF) D. FONTIGNIE (1977) (OG) S. DUPLAIX et al. (1966) (FO) D. FONTIGNIE (1981)	(JCB) J.C. BAUBRON (1975) (1980) (1) (2) (JOG) J.O. GIRAUD (1975) (JG) J. GOGUEL (1952) (JV) J. VERNET (1964) (LB) L. BERTRAND (1898) (LG) L. GINSBURG (1956) (MA) J. MARTINI (1968) (ML) A. MICHEL LEVY (1898) (PG) P. GIGOT et al. (1977) (PO) M. POTIER (1877) (RO) M. ROUBAULT et al. (1970) (SA) G. SANATZKY (1975)		Tableau 1



Antonin. Dans la région niçoise, le sommet des marnes bleues a été daté Eocène supérieur (L. Ginsburg, 1969). Dans les secteurs plus septentrionaux, les schistes calcaires et les marnes à Meletta ont un âge sensiblement identique correspondant à l'Eocène terminal - Oligocène inférieur à moyen pour certains schistes à foraminifères planctoniques (G. Vitally, 1980). On peut donc admettre que les données micropaléontologiques s'accordent à placer les éruptions volcaniques en une période postérieure à l'Eocène supérieur. Certaines roches volcaniques rencontrées localement par les auteurs dans les marnes bleues (A. Blondeau et al., 1969) n'ont pas la signification que leur ont donnée les auteurs. Il s'agit, en fait, de résédimentations détritiques locales et de chenalisations des marnes bleues, celles-ci étant à l'affleurement lors des éruptions volcaniques. En ce qui concerne les formations immédiatement postérieures au volcanisme, l'âge est plus difficile à préciser car la sédimentation post-volcanique est à dominante déritique grossière. Dans le secteur de Vence, toutefois, l'affleurement décrit par F. Irr (1973) comme le témoin d'événements volcaniques contemporains de la sédimentation, tendrait à fixer un âge miocène inférieur pour les dernières éruptions de la province Liguro-Provençale. Nous admettons donc que les données micropaléontologiques confèrent à la fin des éruptions un âge miocène inférieur et que l'on peut considérer le volcanisme andésitique comme couvrant tout l'étage Oligocène.

EN CE QUI CONCERNE LES AGES RADIOMETRIQUES : On est d'emblée étonné par la large gamme de datations obtenues à l'intérieur d'une même province. Les résultats varient, en effet, de -55 Millions d'années à -20 Millions d'années. Il est difficilement envisageable qu'un cycle volcanique ait pu se manifester durant une période aussi longue. On peut citer, pour mémoire, la durée du cycle volcanique calco-alcalin de Sardaigne Nord-Occidentale (C. Coulon, 1977) de 15 Millions d'années ou celle du cycle calco-alcalin péruvien (C. Lefèvre, 1979) à 20 Millions d'années. L'existence de deux cycles distincts paraît peu probable, car il existe trop d'âges intermédiaires entre les valeurs extrêmes pour que l'on puisse dégager deux groupes bien tranchés. L'hypothèse la plus vraisemblable, à notre sens, pour expliquer cette diversité est le caractère très par-

ticulier des roches qui ont été datées. Dans les zones septentrionales P.III et P.IV) les andésites ont été affectées par le métamorphisme alpin (J. Martini, 1969 ; G. Sawatski, 1975 ; D. Fontignie, 1981). De tels facteurs tendent à "rajeunir" la roche en donnant l'âge de la contrainte la plus récente qu'elle a subie. D'autres perturbations peuvent fausser les mesures radiométriques. Certains minéraux, comme les amphiboles, présentent des pièges d'Argon (B. Bonin comm. orale) ce qui, dans le cas de la méthode K/Ar, peut provoquer un vieillissement apparent de la formation datée. Les roches mises en place dans un contexte hydrothermal très actif subissent d'autre part des perturbations sévères au niveau de leur stock de Potassium et d'Argon. On a pu mettre en évidence, dans certains feldspaths de l'Estérellite la croissance tardive de cristaux cubiques de Chlorure de Potassium (R. Clocchiati, 1978 comm. orale). Les nombreuses datations effectuées sur l'Estérellite montrent que les âges les plus anciens s'observent à la périphérie de la formation (Fig.10) et les âges les plus récents au centre. Les roches situées à la périphérie peuvent subir une perte en Potassium car elles sont situées dans une zone où les fluides ont tendance à circuler plus facilement, lors des stades finis ou tardimagmatiques. Les roches situées au centre de la formation sont exemptes de ce type d'altération. On peut citer à l'appui de cette hypothèse le problème rencontré par J.C. Baubron (1975) qui a obtenu des âges plus anciens sur un filon d'Estérellite que sur la roche qu'il recoupe. Le filon, siège d'une intense activité hydrothermale, a pu subir un vieillissement apparent.

#### CONCLUSION.




Bien que les âges radiométriques se répartissent en un intervalle de temps relativement large, le fait que puissent intervenir des phénomènes de rajeunissement ou de vieillissement du matériel daté conduit à prendre en compte les âges intermédiaires qui, comme le montre l'étude géologique, sont les plus proches des âges micropaléontologiques. Nous concluons avec prudence en appelant le volcanisme qui fait l'objet de l'étude le volcanisme paléogène péri-alpin. Nous rappellerons, pour chaque province et district les âges obtenus sur les roches volcaniques par les diverses méthodes de datation.

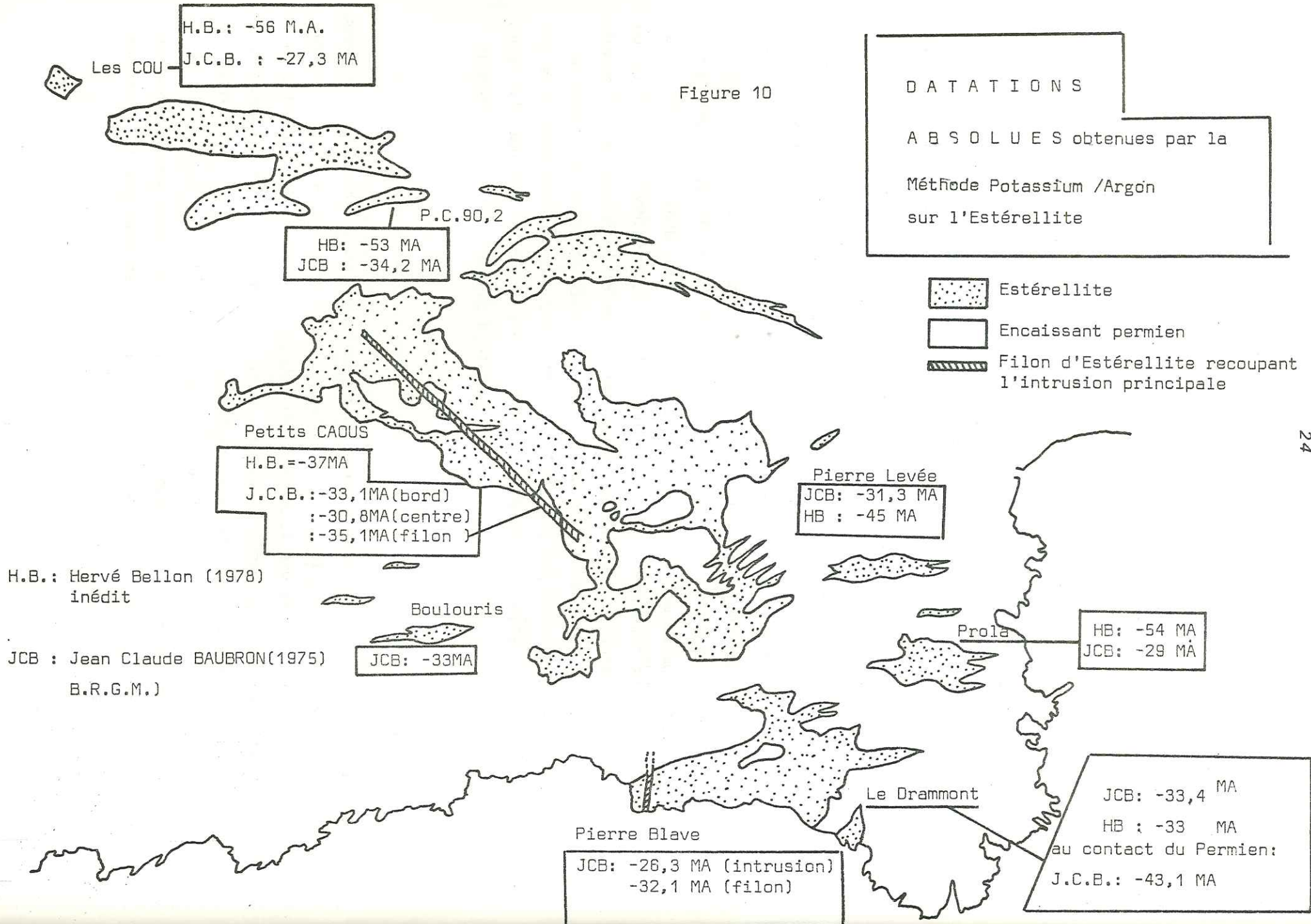


Figure 10

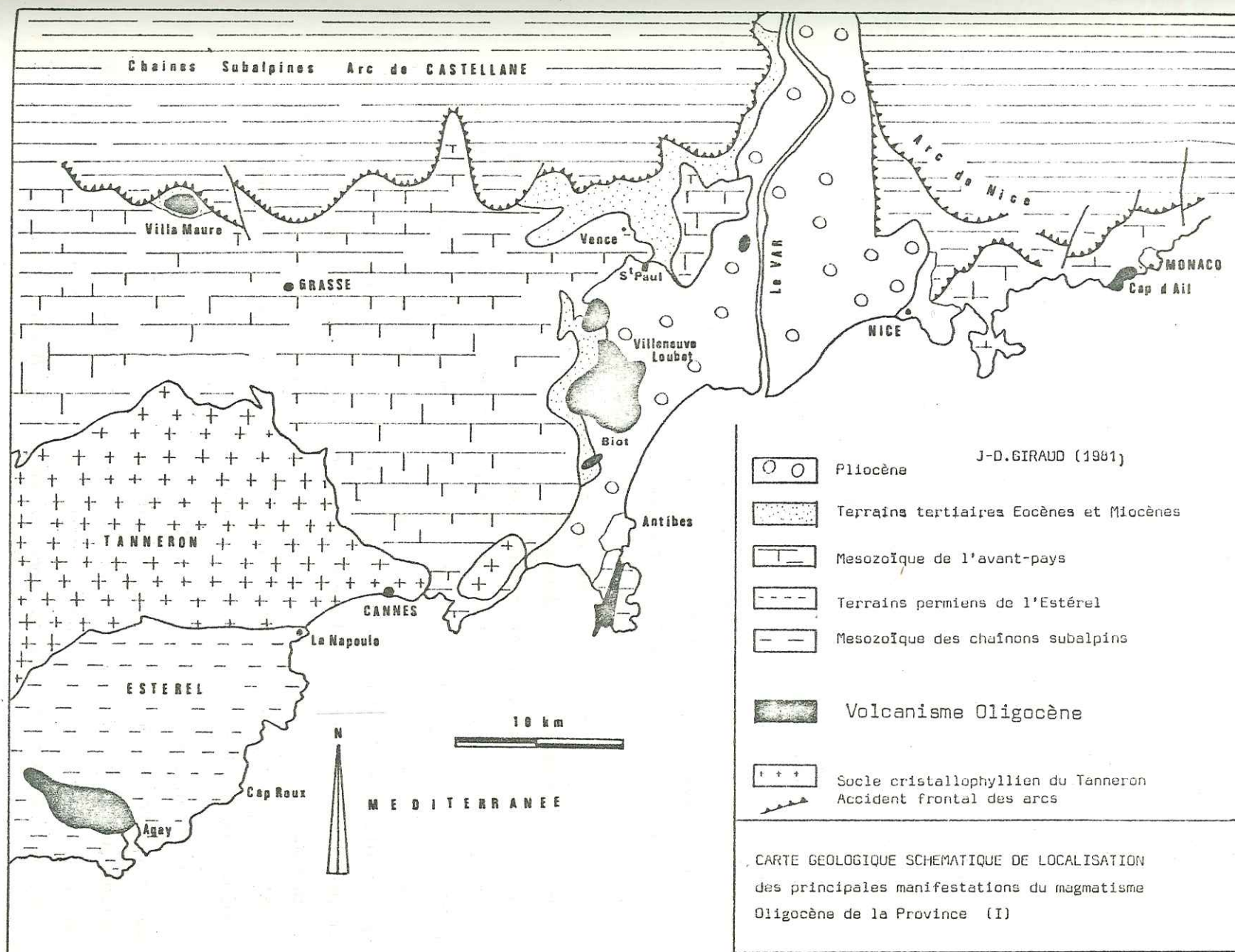
DATATIONS

ABSOLUES obtenues par la  
Méthode Potassium /Argon  
sur l'Estérellite

-  Estérellite
-  Encaissant permien
-  Filon d'Estérellite recoupant l'intrusion principale



24



Carte 1

25



## 2°) ETUDE GEOLOGIQUE DETAILLEE DU VOLCANISME PALEOGENE DU DOMAINE PERIALPIN OCCIDENTAL.

Cette étude a pour but de décrire, sur le terrain, les affleurements volcaniques, de dégager les caractères dominants du volcanisme et de présenter une reconstitution paléovolcanologique intégrant les connaissances sur la dynamique du volcanisme, la paléogéographie des bassins sédimentaires en prenant en compte les connaissances récemment acquises dans les domaines de la géophysique et de l'analyse structurale de la chaîne alpine.

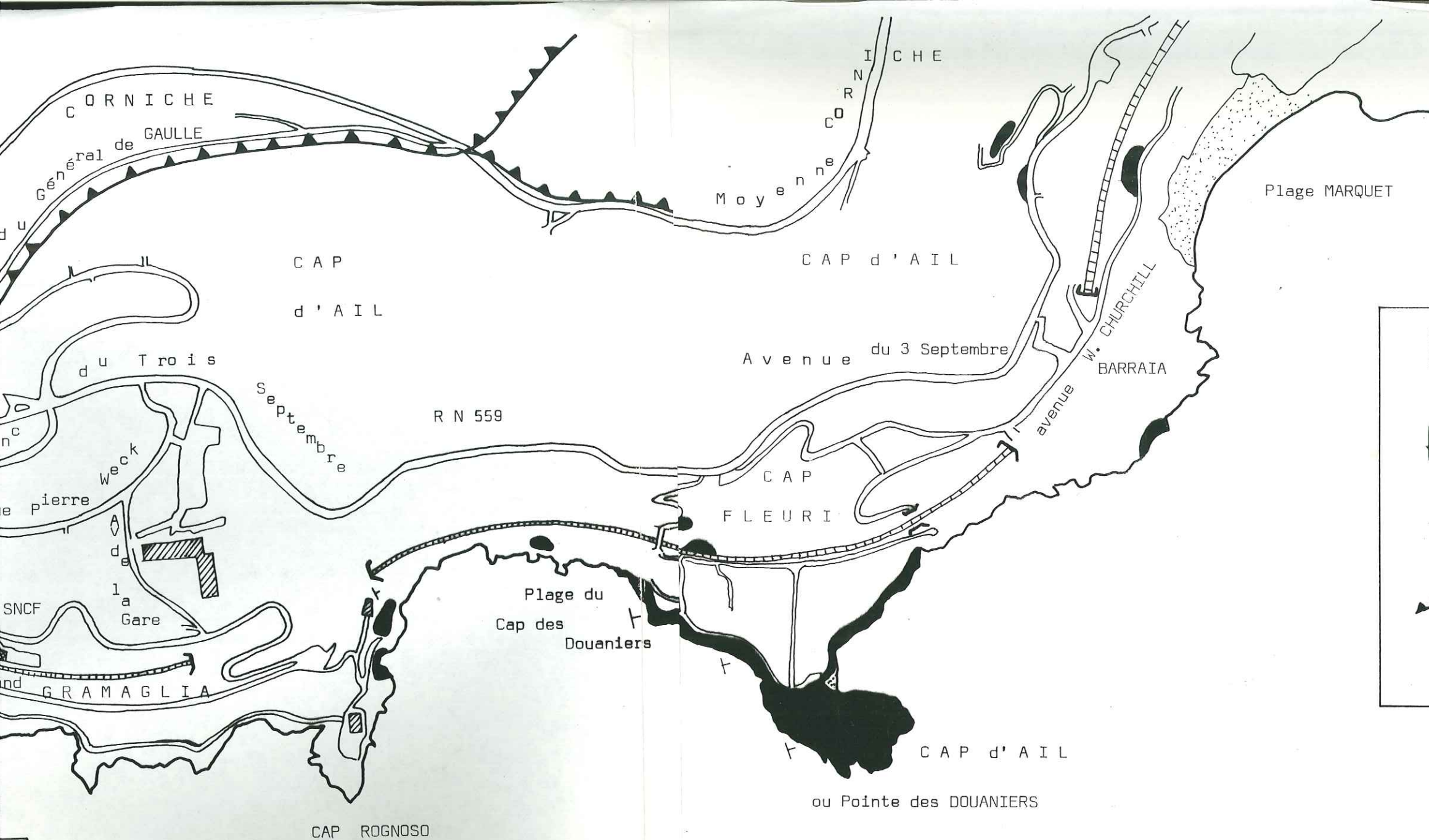
### 2a) La Province Liguro-Provençale (P.I).(Carte 1).

#### 2 a - 1) Le district de Cap d'Ail (I-1).

Les affleurements de roches volcaniques sont très altérés. Ils sont confinés au domaine littoral à l'exception d'un talus routier situé dans l'agglomération de Cap d'Ail (Fig.11). On rencontre exclusivement des tufs volcaniques monogéniques à blocs d'andésite, d'aspect chaotique présentant l'allure de dépôts pyroclastiques de type nuées ardentes. Au sein de ces pyroclastites s'observent des intercalations sédimentaires ou volcanosédimentaires ravinant les produits explosifs. Une coupe montrant une séquence type est donnée à la Figure 12. C'est dans cette formation traversée en sondage qu'ont été datées de fines passées marneuses qui ont livré une faune Miocène inférieur (J. Vernet et al., 1963). Nous n'avons pas retrouvé les conglomérats polygéniques qui, selon P. Robert (1960), seraient associés aux tufs volcaniques. Peut-être ne s'agissait-il que de placages discordants correspondant aux plages marines quaternaires. Le peu d'affleurements et leur mauvaise qualité rend impossible une interprétation correcte de l'ensemble. Il convient cependant de noter l'autochtonie des formations volcaniques, leur caractère rigoureusement monogénique excluant tout mélange avec du matériel sédimentaire.

Bien qu'il soit impossible de déceler un centre éruptif, le pendage des pyroclastites au Nord-Est peut indiquer que l'on a à faire à un édifice volcanique situé plus au sud dans une zone actuellement immergée. D'autres points de sortie possible ont pu être masqués par les unités allochtones qui recouvrent l'avant-pays (unité de la Tête de Chien).





U R E M E N T S V O L C A N I Q U E S d e C A P d ' A I L



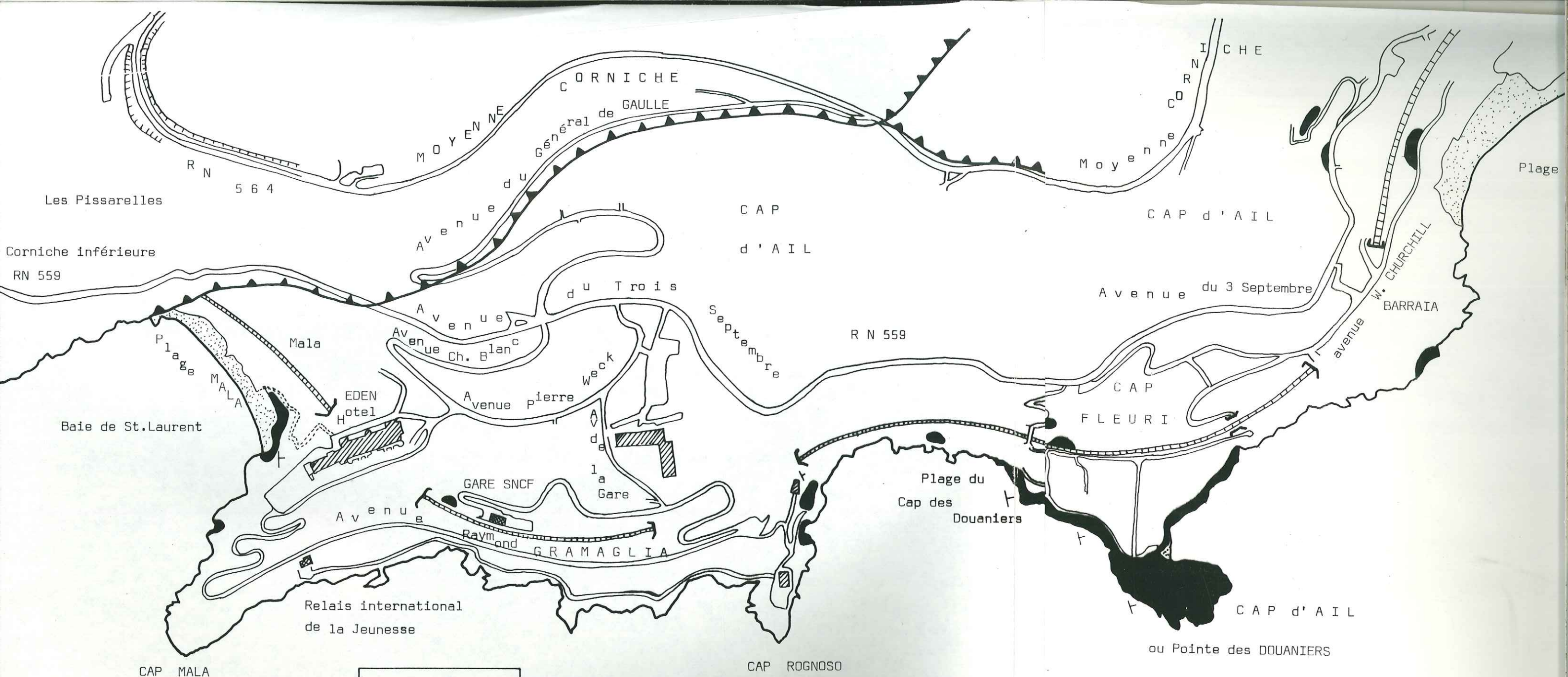


Figure 11

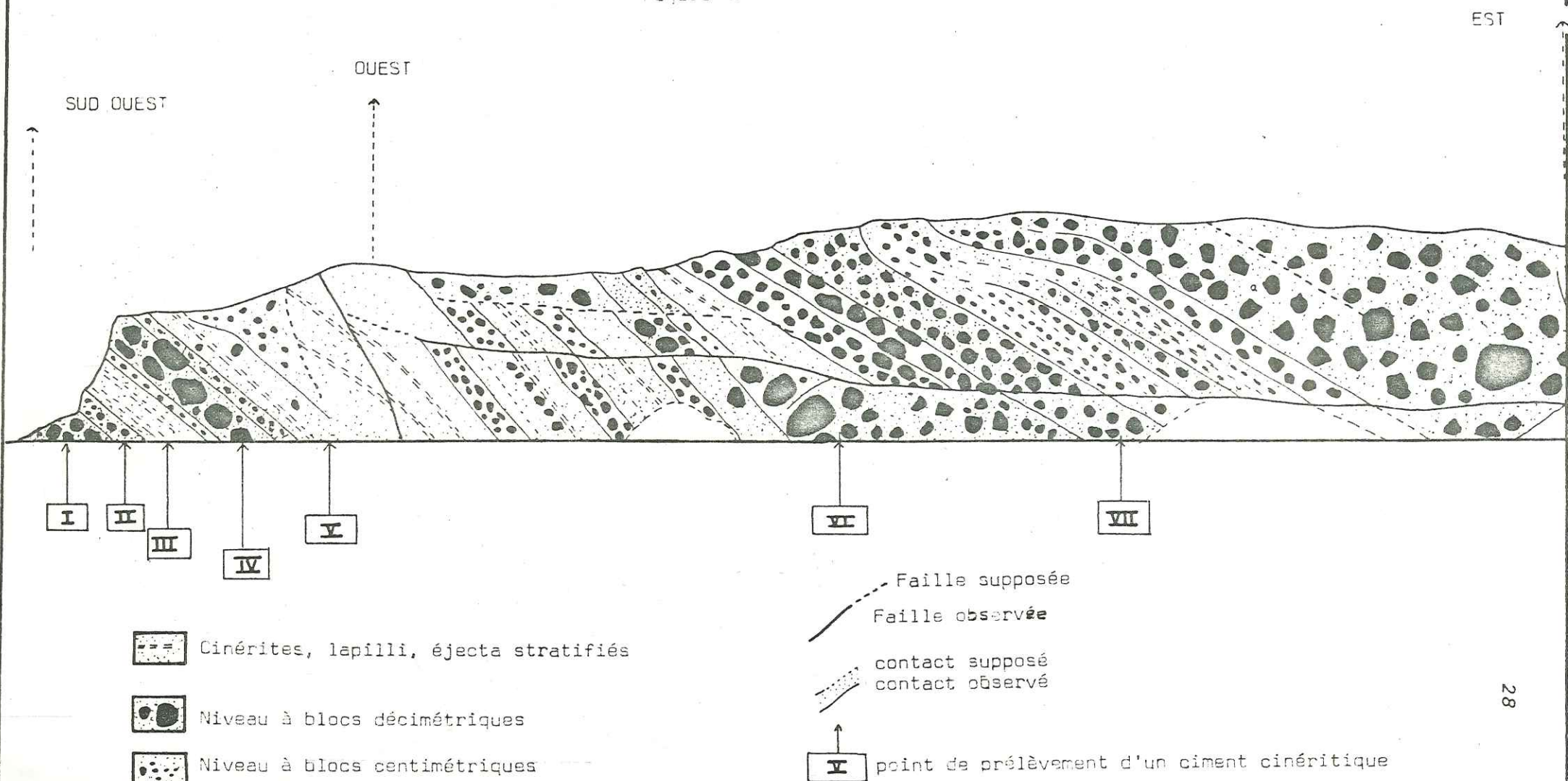
LOCALISATION DES AFFLEUREMENTS VOLCANIQUES de CAP d'AIL



# COUPE GEOLOGIQUE DES NIVEAUX PYROCLASTIQUES

de la plage des DOUANIER S

Figure 12





## 2 a - 2) Le district de la région niçoise.

Les roches volcaniques qui y affleurent ont fait l'objet de nombreuses datations effectuées en particulier par H. Bellon (1973 et 1978 inéd.) et J.C. Baubron (1975) reportées sur la carte de la Figure 13.

Le district de la région niçoise comprend un volcan principal dans le secteur de Biot et une série de pointements isolés disséminés dans les environs. Le percement récent d'une piste dans la région de Villeneuve-Loubet a permis de mieux observer les formations que les auteurs ont jusqu'ici appelées "conglomérats andésitiques".

### 2 a 2-1) L'appareil de Biot et ses dépendances.

#### 2 a 2-1-1) Stratigraphie des formations antérieures au volcanisme et âge du volcanisme.

Le substratum anté-volcanique que nous décrirons à partir des calcaires jurassiques est représenté par un ensemble complexe de calcaires massifs sub-lithographiques ou dolomitiques d'âge hettangien à portlandien. Ces assises jurassiques ont été récemment étudiées par C. Mangan (1982).

Elles sont surmontées par un Crétacé très réduit où ont été décrites des faunes cénomaniennes (J.F. Tapoul, 1977). Les terrains tertiaires sont représentés par les sables bariolés de l'Eocène inférieur bien développés dans les carrières de La Valmasque au Sud de Biot. L'Eocène moyen est représenté par des calcaires lacustres à limnées (*limnaea alpina*) d'âge lutétien. Les calcaires gréseux sus-jacents forment un horizon constant dans la région. A La Vanade ils ont livré des faunes du Lutétien terminal. Les marnes bleues qui surmontent ces calcaires, habituellement dénommés calcaires à nummulites, sont rapportées au Bartonien ou, à la limite, Bartonien-Ludien. On connaît mieux ces marnes sous le vocable de marnes priaboniennes. Les formations volcaniques reposent fréquemment sur ces formations marneuses mais en sont parfois séparées par un niveau d'argiles à cailloutis remaniant les marnes priaboniennes et riches en galets de calcaires jurassiques ou nummulitiques. Cette formation détritique est connue sous le nom de cailloutis de La Gouargo et interprétée par les auteurs comme le résultat d'un petit cycle sédimentaire oligocène. Nous

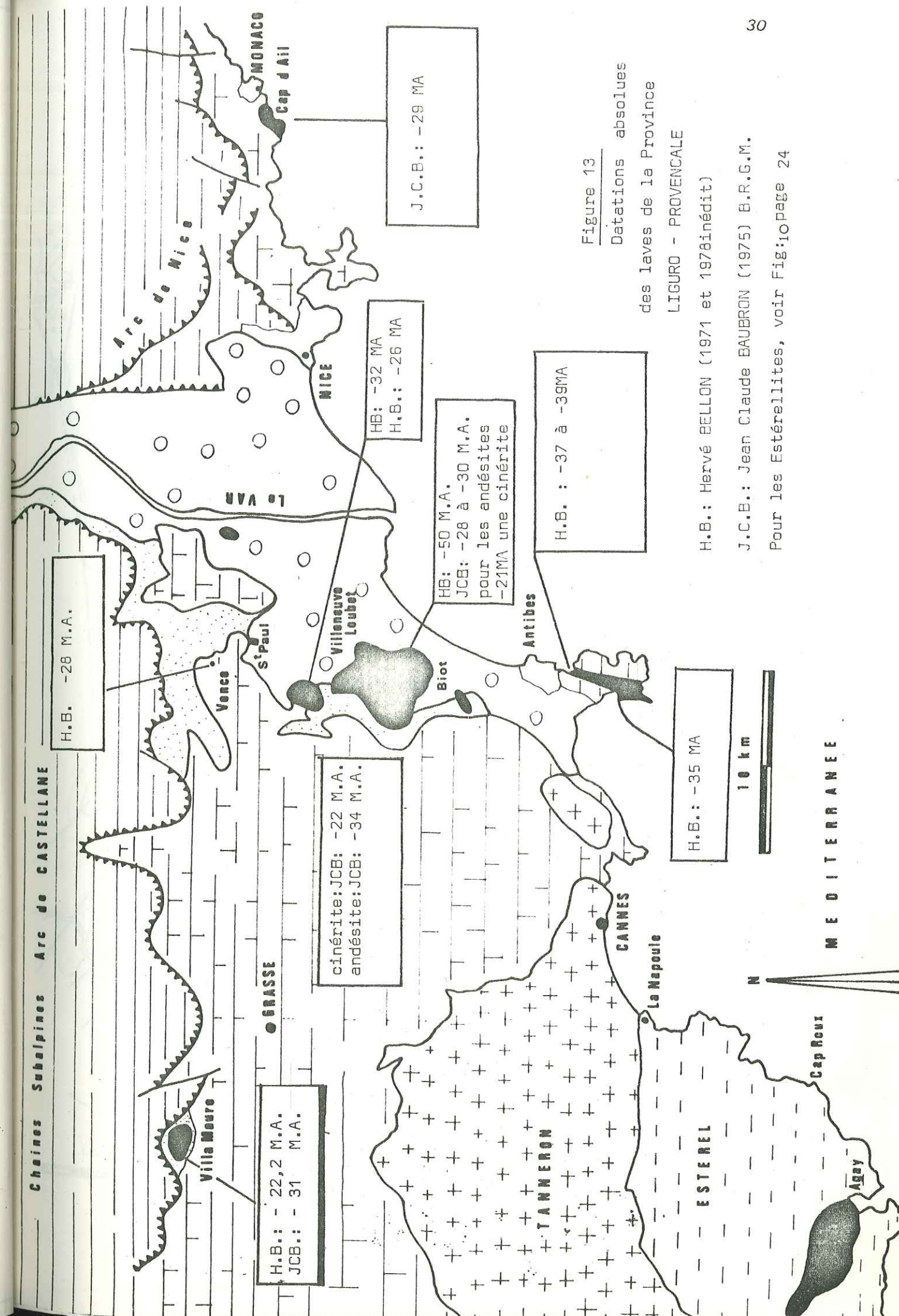


Figure 13

Datations absolues

des laves de la Province

LIGURO - PROVENCALE

H.B.: Hervé BELLON (1971 et 1978 inédit)

J.C.B.: Jean Claude BAUBRON (1975) B.R.G.M.

Pour les Estérellites, voir Fig. 10 page 24



verrons ultérieurement que ce niveau présente une réelle importance dans les reconstitutions paléovolcaniques. La molasse aquitanienne du secteur de Vence remanie à sa base des blocs de lave mais on y observe parfois des mélanges lave-sédiment qui suggèrent une contemporanéité entre le volcanisme et la sédimentation (F. Irr, 1973).

#### 2 a 2-1-2) Les formations volcaniques.

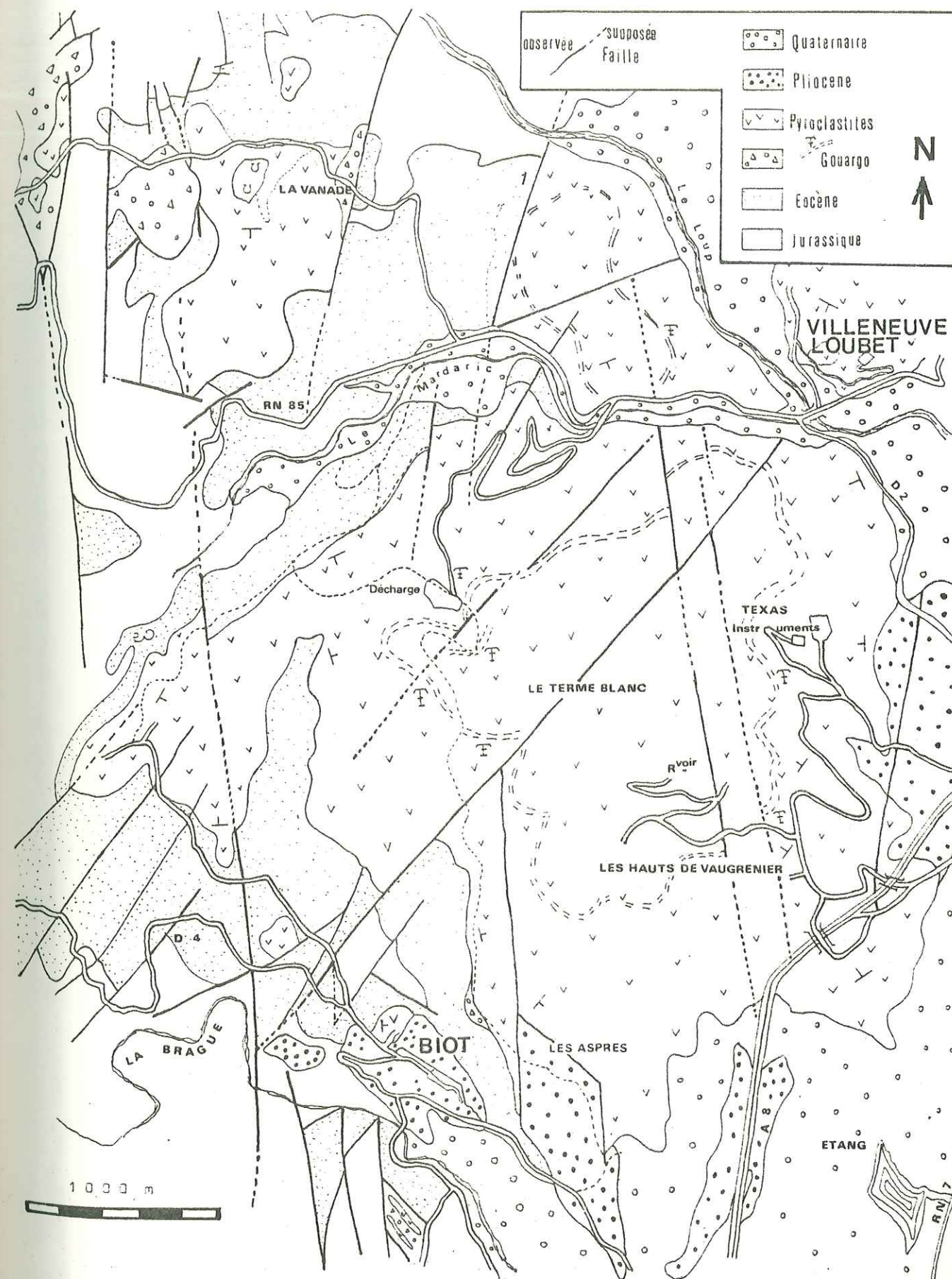
Elles sont représentées presque exclusivement par des pyroclastites et des filons andésitiques démantelés datant de l'Oligocène. Certains âges plus anciens, obtenus sur des andésites du secteur de Biot, correspondraient à l'Eocène supérieur (H. Bellon, 1978 comm. orale). La coupe téphrostratigraphique de ces formations a pu être levée sur la piste récemment ouverte entre Villeneuve-Loubet et le Terme Blanc (Carte 2) qui conduit à une décharge contrôlée. Une autre coupe intéressante a été levée dans les carrières de La Vanade dont les divers fronts de taille ont très rapidement progressé ces dernières années (Fig.15). Nous retiendrons, enfin, la coupe de la base de la série volcanique qui affleure à l'entrée des établissements "Texas Instruments" (Carte 2) que nous présentons en Figure 16.

#### COUPE DES NIVEAUX PYROCLASTIQUES : secteur Villeneuve-Loubet (Fig.14).

Cette coupe, présentée en Log synthétique, permet d'observer de façon très nette le contact entre les tufs volcaniques et leur substratum représenté par des marnes bleues priabonniennes. Le passage des marnes aux tufs se fait par l'intermédiaire d'une zone de mélange où s'observent des phénomènes de glissement du matériel volcanique sur son substratum. Ce niveau s'observe aussi à Biot, au contact entre les tufs volcaniques et les calcaires à nummulites, sur l'aire de stationnement aménagée sur la route qui descend, à la sortie Nord-Ouest du village, en direction du vallon des Vignasses. On observe de même un mélange entre les tufs volcaniques et des éléments roulés de calcaire à nummulites.

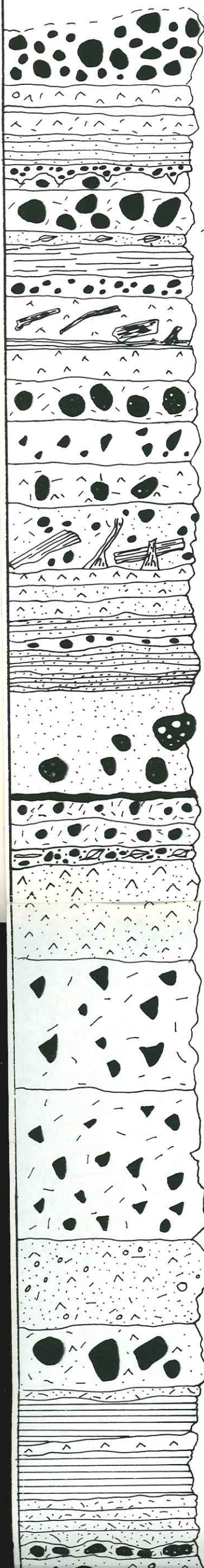
REMARQUE : Les marnes priabonniennes renferment fréquemment des fragments d'une andésite différente de celles que l'on trouve en blocs dans les tufs ou en filons. Cette roche, décrite par A. Blondeau et P. Bordet

Carte 2





1 cm = 5 m en épaisseur



Volcano-détritique terminal du  
Terme Blanc

Tuf ponceux

Tufs ponceux Niveau rubéfié

Cendres fines

Niveau sédimentaire

Nuée ardente

Cinérites à feuilles  
cendres fines

Niveau sédimentaire

Tufs à nuées de ponces et bois carbonisés

Tufs ponceux à nuées de ponces

Tufs à scories

Tufs ponceux

Tufs ponceux à scories

Niveau volcano-sédimentaire  
à bois silicifiés

Tufs

Cinérites et Tufs

Cinérites fines

Niveau à galets et blocs de lave rubéfiée

Cinérites à scories

Niveau volcano-détritique Niveau cuit

Cinérites à feuilles

Tuf

Brèches volcaniques

et

Tufs soudés à chaud

Tufs ponceux

Tufs à gros blocs (Nuées ardentes)

Cinérites fines

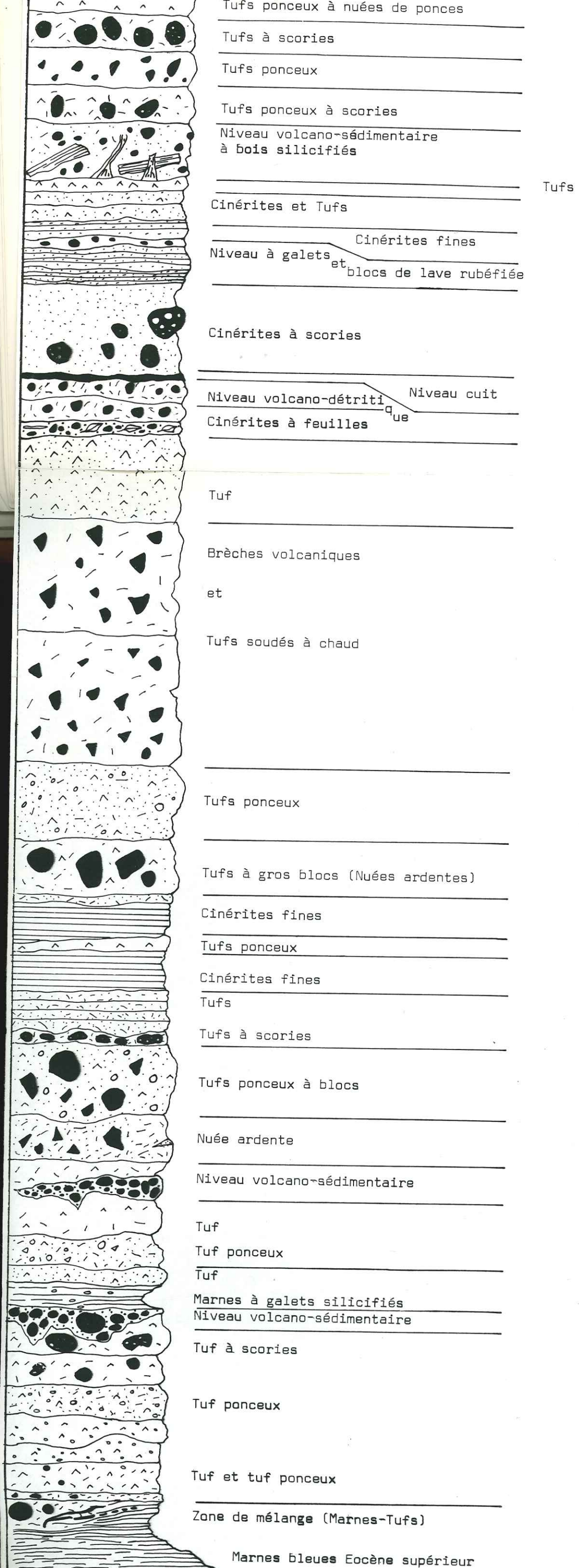
Tufs ponceux

Cinérites fines

Tufs

Tufs à scories







(1969) dans un affleurement de bord de route (situé au croisement de la route de la Colle - Saint-Paul de Vence avec le chemin de la Fondation Maeght) est très altérée en raison de l'abondance de la mésostase vitreuse entièrement argilisée. Comme le faisait remarquer, à juste titre, P. Bordet dans sa description "elle doit avoir été altérée en milieu marin". Des roches analogues, que nous décrirons de manière plus approfondie dans le chapitre consacré à l'étude pétrographique, se rencontrent dans le synclinal de Saint-Antonin et à Barrême dans la même position, c'est-à-dire à la base de la série volcanique. Elles correspondent à une première éruption mise en place sous faible tranche d'eau, avant l'émersion finale des édifices volcaniques.

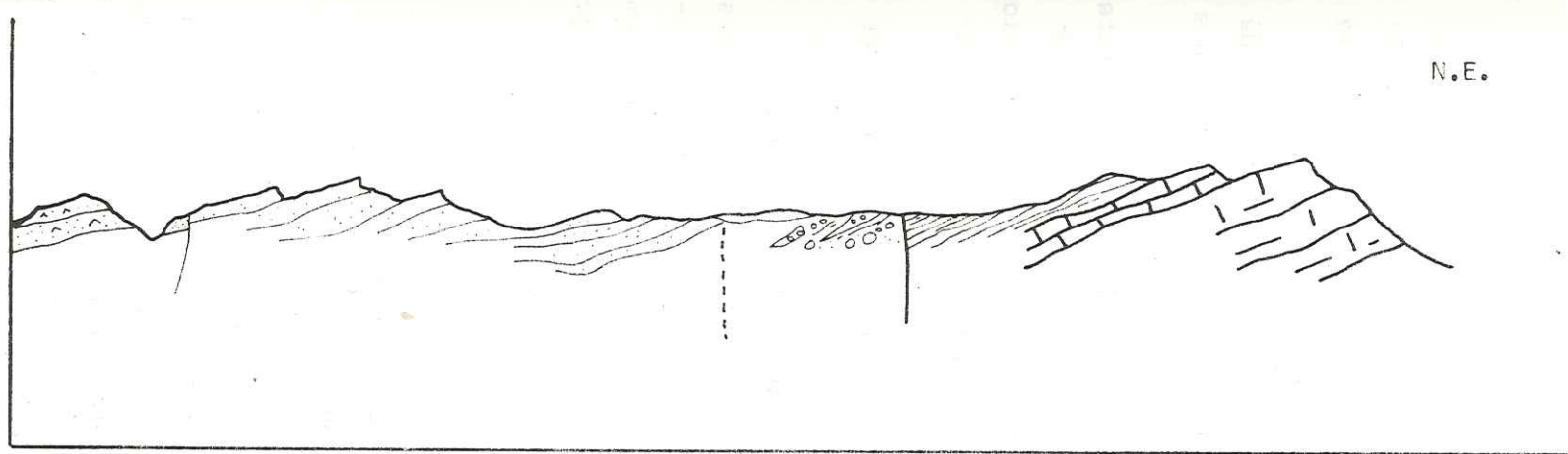
L'ensemble des terrains recoupés par la coupe montre le caractère très explosif du volcanisme. On peut décomposer l'ensemble en deux éruptions principales caractérisées par l'émission de tufs et de tufs ponceux précédant la mise en place de cinérites à scories suivie de nuées ardentes à végétaux incarbonés. Les différentes phases explosives sont séparées par des coulées boueuses (lahars) ou des lits conglomératiques ravinant les pyroclastites. Les tufs soudés renferment des blocs d'andésite de grande taille (plusieurs m<sup>3</sup>). Leur aspect chaotique, ainsi que la présence de bois brûlés, suggère une mise en place de type nuée ardente confirmée par le caractère absolument monogénique des formations tufacées et l'abondance de la phase vitreuse dans le ciment des brèches. Les brèches renferment en abondance des blocs de grande taille dont la forme montre qu'ils ont été dispersés alors qu'ils étaient encore visqueux. Certains autres présentent des stries telles que celles que l'on peut observer dans les extrusions andésitiques ou dacitiques et ceci témoigne de l'existence d'anciens édifices éruptifs démantelés par les nuées. Les pyroclastites sont en outre fréquemment traversées par des filons andésitiques très vite démantelés sur place. Seule, l'étude par traînée de résistivité (Fig.17) permet de mettre en évidence la présence de tels filons. Signalons, enfin, l'abondance des lapilli de cristaux le plus souvent constitués par des lattes de plagioclase étudiées par S. Whihelm (1978).

REMARQUE : S. Whihelm (1978) a montré que les feldspaths plagioclases rencontrés dans les tufs et cinérites andésitiques ne montraient aucun



S.W.

N.E.



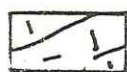
Argiles, grés et cailloutis (facies de La Gouargo)



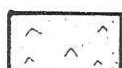
Marnes Eocène supérieur



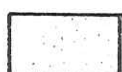
Calcaires nummulitiques



Calcaires (Jurassique Supérieur)



Tufs et brèches volcaniques andésitiques



Cinérites fines

Figure 15

COUPE GEOLOGIQUE DE LA BORDURE ORIENTALE DU FOSSE  
de la VANADE.



indice d'usure consécutive à un transport, même très bref. Cette observation confirme l'autochtonie des produits volcaniques et le terme de conglomérats andésitiques peut être abandonné.

La coupe de la Figure 15 révèle les formations d'argiles à cailloutis (faciès de la Gouargo) dont le contact avec les tufs volcaniques est difficile à observer. Les tufs soudés qui arment le front de taille supérieur des carrières de La Vanade surmontent une épaisse série de cinérites fines dont la base renferme des bombes et scories de grande taille (plusieurs dm). Les différentes émissions de cendres sont séparées les unes des autres par des niveaux rouges argileux présentant des fentes de dessiccation (mud cracks) qui indiquent un milieu de dépôt sub-aérien sous très faible tranche d'eau. Il est fort probable que ces niveaux correspondent, en fait, à des poches discontinues formées à la faveur de petites flaques d'eau en milieu franchement aérien. En toute hypothèse, le dépôt des pyroclastites en milieu marin est à exclure. L'étude de la répartition des troncs silicifiés (P. Rostan, 1981) suggère la possibilité de l'existence d'un lac volcanique au centre du volcan de Biot. Les eaux du lac, enrichies en silice par les fumerolles ou le lessivage à l'air libre des tufs andésitiques auraient favorisé la silicification des végétaux arrachés par le souffle des éruptions et projetés dans le lac. La coupe de la Figure 16, levée à l'entrée des installations de la Texas Instruments (Carte 2) nous montre la base des tufs volcaniques représentés par un niveau riche en fragments de calcaires jurassiques ou nummulitiques fréquemment entourés d'une auréole à leur contact avec le tuf, suggérant un léger métamorphisme de contact lors de l'épanchement des pyroclastites.

LES DEPENDANCES DU VOLCAN DE BIOT : les affleurements du Cap d'Antibes.

Les principaux affleurements de tufs andésitiques se situent en bordure de mer entre la Pointe de Bacon, à l'Est du Cap et l'anse de Juan-les-Pins, à l'Ouest du Cap. Dans l'intérieur du Cap, quelques pointements, étudiés et cartographiés par C. Mangan (1982), ont révélé la présence de filons sécants d'andésites orientés N.140°Est. Il existe d'autres affleurements intéressants, en particulier dans l'anse située à proximité de la Pointe du Croûton et où se trouve un petit ponton surmonté d'une tour. Une série de petits rochers, orientés Nord-Sud et constitués par de

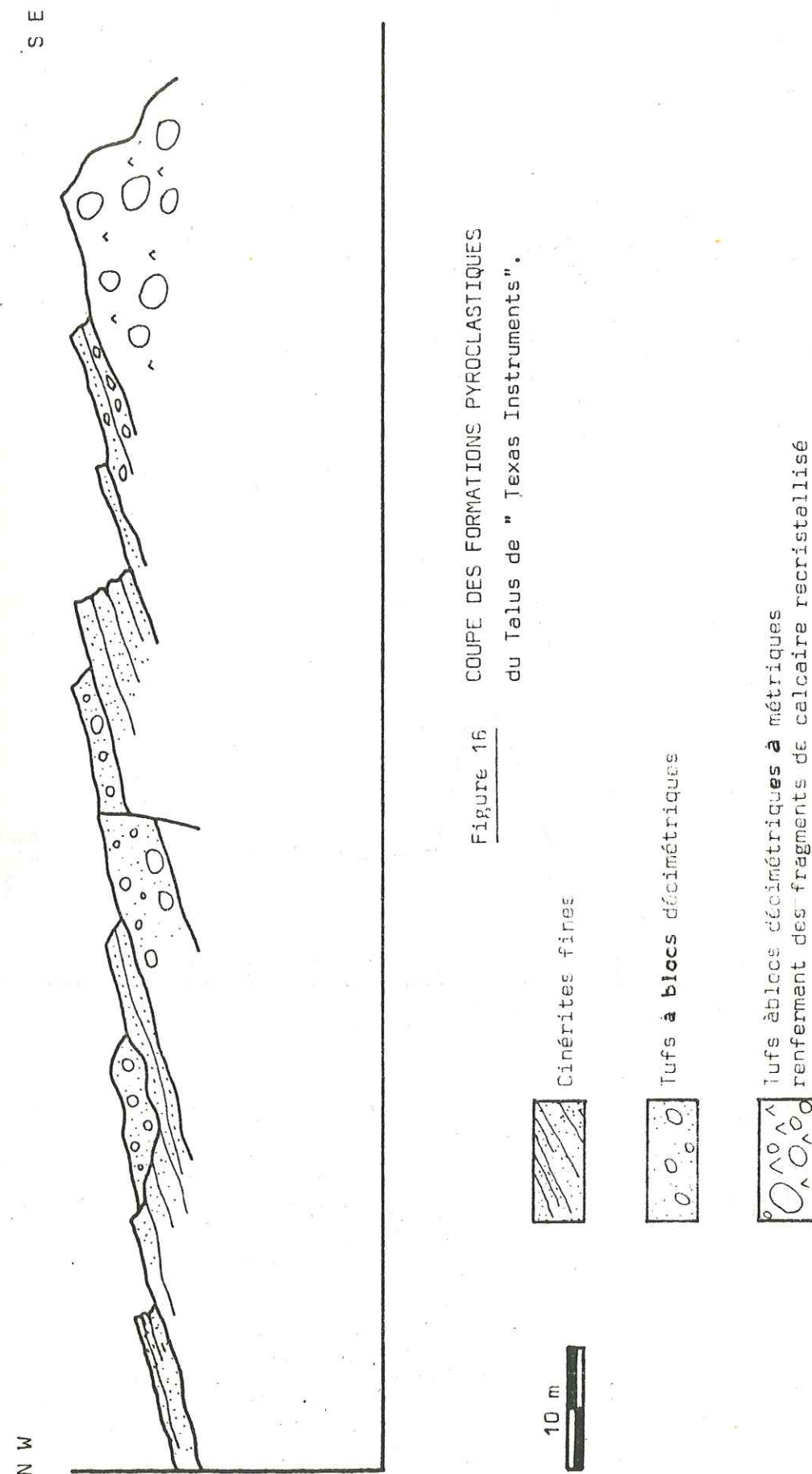
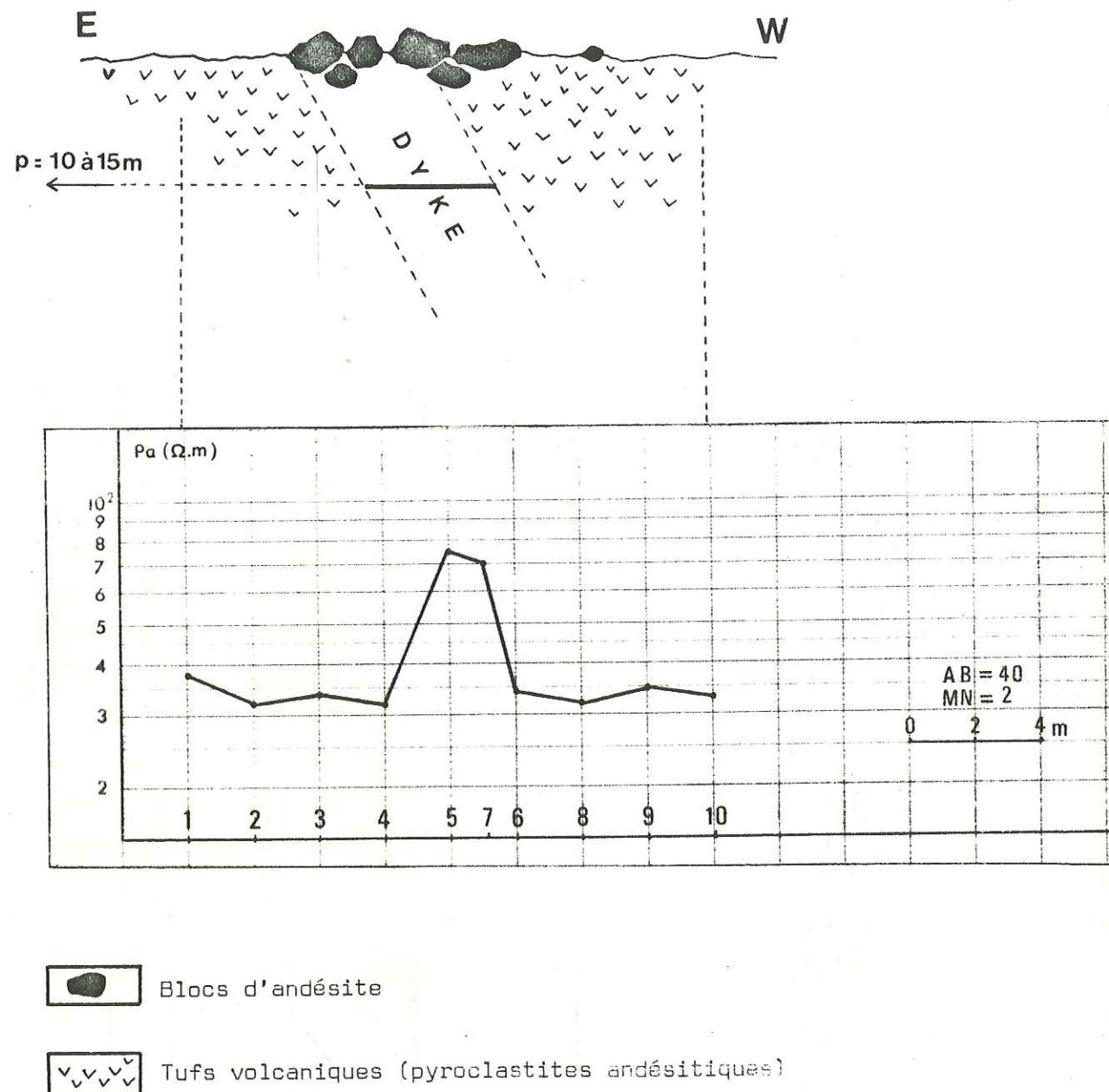


Figure 16 COUPE DES FORMATIONS PYROCLASTIQUES  
du Talus de " Texas Instruments".



Figure 17 : Détection par un profil de résistivité à - 10m d'un dyke d'andésite démantelé par l'érosion en surface.



l'andésite massive, correspond vraisemblablement à un filon qui recoupe les tufs. La carte de la Figure 18 montre ces affleurements.

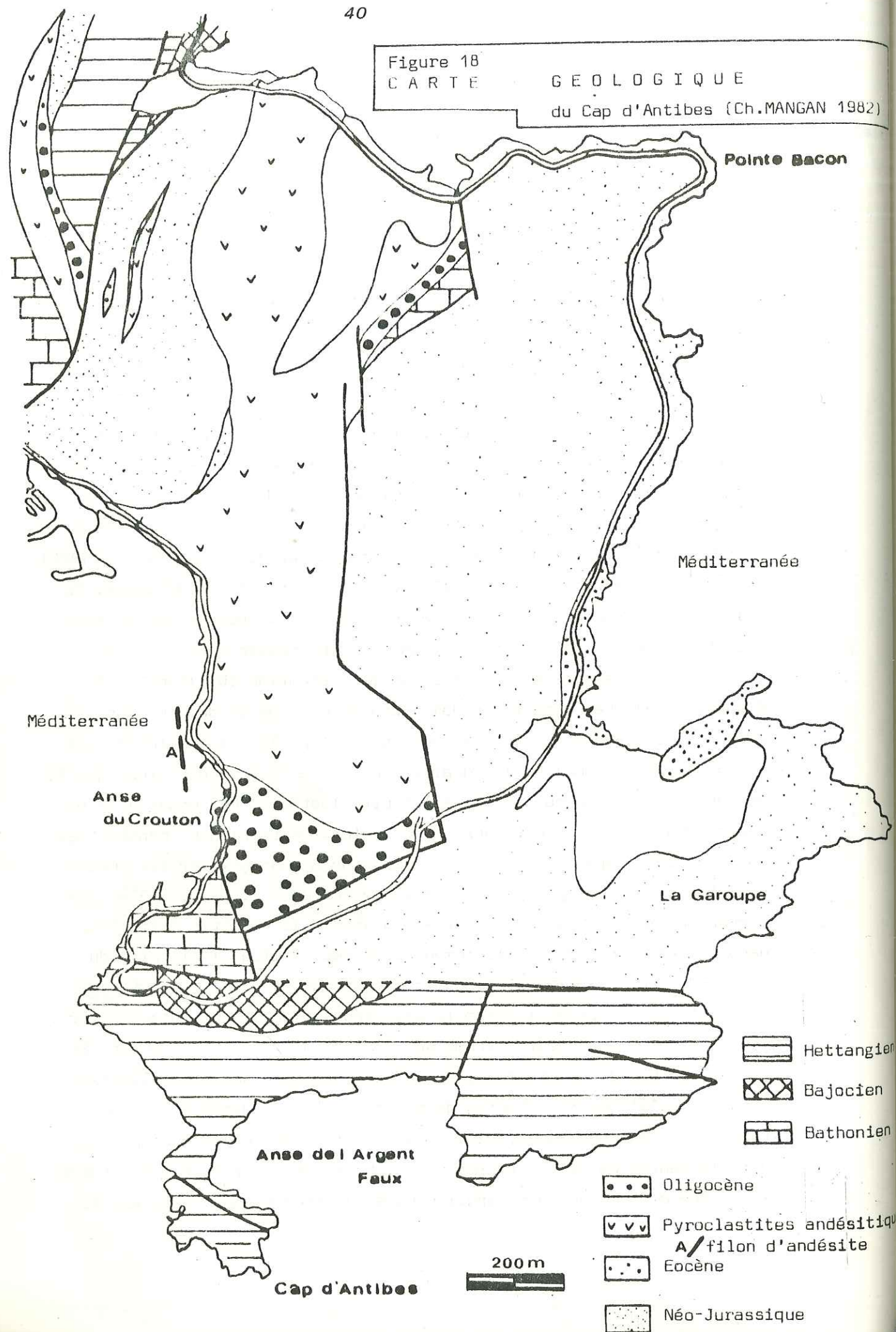
Entre Biot et Antibes, les tufs andésitiques sont impliqués dans un réseau très dense de failles sub-méridiennes dont nous donnerons la signification dans le chapitre consacré aux liaisons de la tectonique et du volcanisme.

2 a 2-1-3) Dynamique du volcanisme et essai de reconstitution paléovolcanologique.

L'étude des formations du volcan de Biot et de ses dépendances montre le caractère très explosif du volcanisme (J-D. Giraud et al., 1978). Nous nous servons, pour définir la nature de ces dépôts, outre des travaux de A. Lacroix (1930) et de A. Rittmann (1963) de la classification récente proposée par J. Wright et al. (1980) qui propose une nouvelle terminologie des produits pyroclastiques. Du point de vue descriptif, les formations de Biot s'apparentent au type "Blocks and ash flow" qui se rattache au type Péléen dans les classifications basées sur le site et le style d'éruption (Williams et Mc Birney, 1979). Les caractères dominants de ce type de dépôts sont la présence de ponce et scories associées aux lapilli cristallins et aux blocs (lithics) comblant les dépressions de la topographie ainsi que la présence de bois carbonisés dans les pyroclastites. Les mesures de paléotempératures effectuées sur ces bois (cf. Pétrographie) donnent des températures comparables aux estimations de A. Lacroix sur les nuées ardentes de la Montagne Pelée ou aux données de R.C. Maury (1976) concernant ce même volcan, à savoir 400 à 450°C. Il est très difficile, dans l'état actuel des affleurements, de reconstituer l'histoire du volcan de Biot, dont l'existence semble cependant établie, d'une part par la forme que revêt l'ensemble des dépôts (Fig.19) et, d'autre part, en raison de l'épaisseur extrême des formations (environ 300m dans le secteur de Biot). La présence, en ce seul secteur, de bois silicifiés et d'accumulations importantes de matériel effusif disposé en chaos rappelant d'anciens necks, aiguilles ou filons démantelés sur place vers le centre du massif (Terme Blanc, Hauts de Vaugrenier) confirment l'existence d'un ancien appareil centré au Terme Blanc. Il convient,



Figure 18  
CARTE GÉOLOGIQUE  
du Cap d'Antibes (Ch. MANGAN 1982)



enfin, de signaler (Fig.19) que le pendage des assises pyroclastiques suggère la disposition en cuvette de l'ensemble suivant, un dispositif rappelant un cratère effondré.

Dans l'état actuel des observations, il semble difficile de localiser avec précision les cheminées volcaniques comme c'est souvent le cas dans ce type de volcanisme dont les produits explosifs recouvrent les points d'émission (R. Lefèvre, C. Coulon, 1975). Nous les supposons situés à l'aplomb des zones montrant la plus grande densité de filons démantelés (Terme Blanc). La Figure 20 montre une tentative de reconstitution de l'ensemble éruptif, dans l'hypothèse d'un appareil principal centré sur le secteur de Biot et non, comme le pensaient nos prédécesseurs, d'un massif constitué de conglomérats provenant du démantèlement d'édifices actuellement immergés. La présence, à l'Est de Biot, d'une zone recouverte par les dépôts pliocènes et les alluvions du Var rend difficile la reconstitution paléovolcanologique présumée.

#### 2 a 2-1-4) Relations volcanisme-tectonique concernant l'appareil de Biot et ses dépendances.

La carte schématique de la Figure 21 montre que le massif volcanique de Biot se situe dans une zone intensément faillée correspondant à un grand accident subméridien connu sous le nom de "faille d'Antibes" et reconnu en mer par G. Pautot (1970). Cette faille, déjà étudiée par L. Glangeaud (1965) a joué de nombreuses fois au cours des temps géologiques. Sa direction Nord-Sud est très représentée dans l'avant-pays péri-alpin en particulier dans le domaine Nord varois (G. Giannerini, 1978) et la région niçoise (G. Tapoul, 1977), (C. Mangan, 1982) où elle correspond à l'orientation des fossés d'effondrement oligocènes. De tels fossés s'observent sur le trajet de la faille d'Antibes (C. Mangan, 1982). Nous avons retenu deux cas où les relations volcanisme-structure tectonique sont particulièrement intéressants : Le Fossé de La Vanade et le Fossé de la Noria au Sud de Biot.

Dans le cas du Fossé de La Vanade (Carte 2 et Fig.22) la faille bordière occidentale est scellée par les tufs volcaniques. Dans celui du Fossé de la Noria (Fig.23), les bordures du fossé sont injectées de matériel



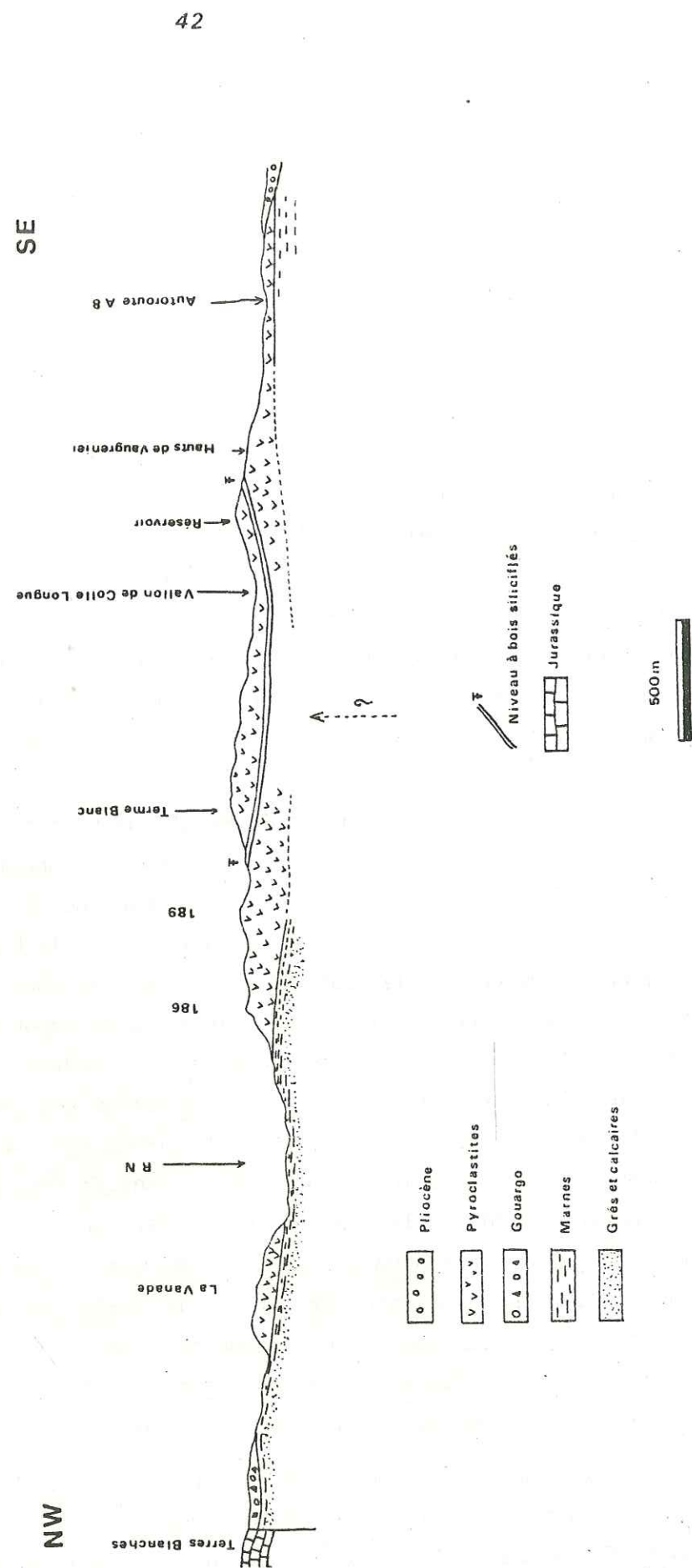


Figure 19 : Coupe des formations volcaniques dans le secteur de Biot (voir localités Carte 2)

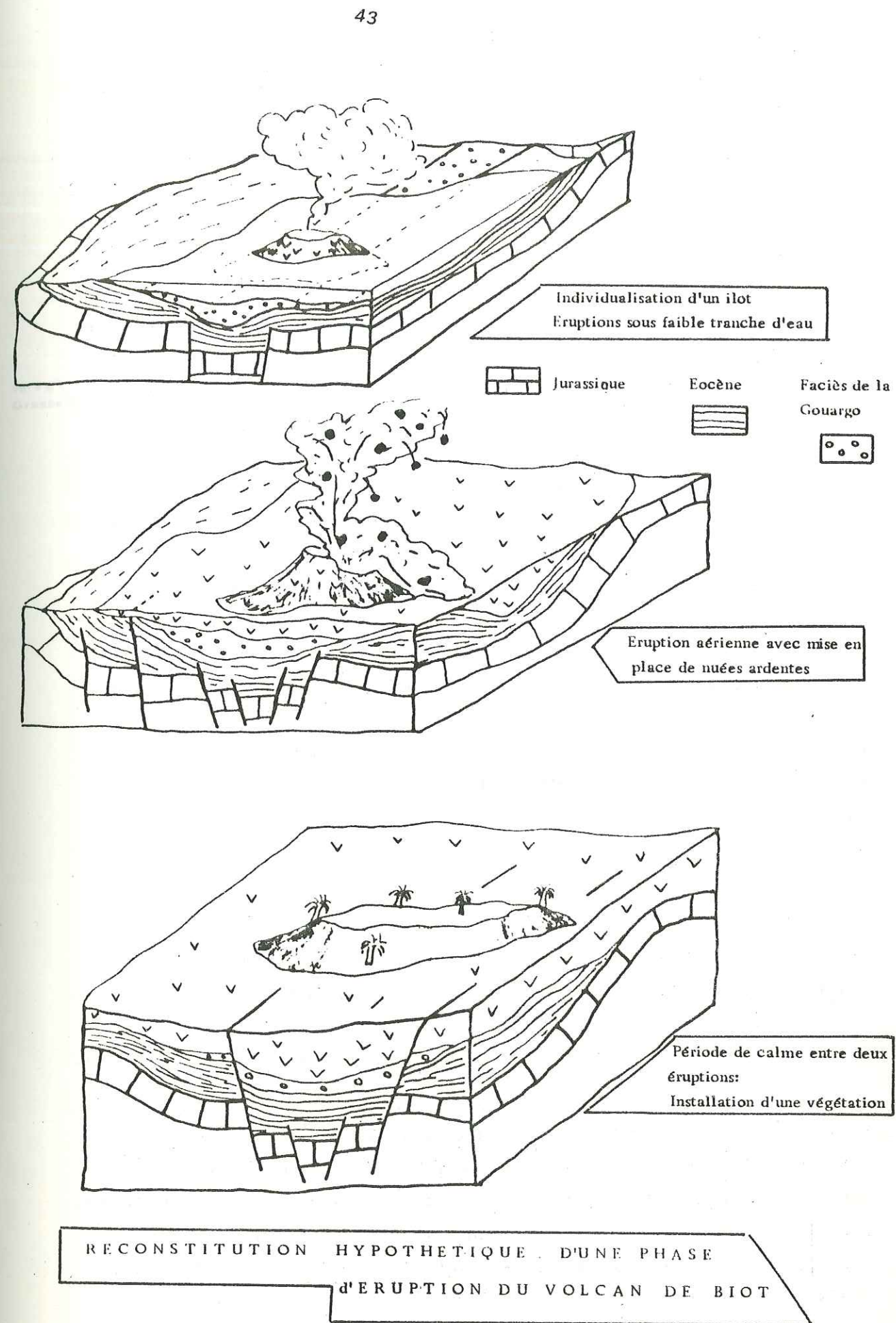


Figure 20



volcanique. Ces deux observations montrent que le volcanisme est lié à l'activité des fossés. Il existe, en outre, dans le secteur des Hauts de Vaugrenier, deux affleurements particulièrement spectaculaires montrant des fossés d'orientation sub-méridienne à l'intérieur des pyroclastites. Ces fossés Nord-Sud, observés pour la première fois dans les tufs volcaniques montrent de façon démonstrative la contemporanéité des manifestations volcaniques et de l'ouverture des fossés. Il existe, dans ce même secteur, des chenaux orientés Nord-Sud comblés de matériel volcano-sédimentaire et recouverts par des émissions cingritiques. Ce dispositif confirme la liaison volcanisme-tectonique lors de l'ouverture des fossés Nord-Sud (Fig. 24a & 24b). Ces différents éléments nous ont permis de proposer un modèle de mise en place du volcanisme en liaison avec l'activité d'un fossé (Fig. 25). Dans ce schéma, les formations à cailloutis de La Gouargo prennent la signification de dépôts syntectoniques déposés vraisemblablement par des cours d'eau orientés par la tectonique, c'est-à-dire Nord-Sud et renfermant des galets de calcaires jurassiques et nummulitiques emballés dans un ciment marneux à faunes priaboniennes remaniées. Il s'agit, en effet, des seules formations qui devaient alors affleurer dans les environs immédiats du volcan de Biot. L'étude des minéraux lourds dans ce faciès particulier a révélé l'existence d'apports en minéraux de socle cristallin dont l'origine est difficile à préciser.

#### 2 a - 3) Le district de Saint-Vallier (I-3).

Bien que de faible importance, une place lui a été réservée en raison de sa position excentrée par rapport aux affleurements du district niçois. Seuls deux affleurements retiendront notre attention :

##### 2 a 3-1) L'affleurement de la Villa Maure (Fig. 26a & b).

Certains auteurs ont pensé qu'il pourrait s'agir d'un neck (J.C. Baubron, 1975). L'étude détaillée montre qu'il s'agit, plus vraisemblablement, d'un lambeau de lahar coincé sous les chevauchements sub-alpins. Deux cents mètres environ à l'Est du lieu-dit La Villa Maure, dans la tranchée creusée lors de l'installation du gazoduc il était possible d'observer le prolongement des formations volcaniques (M. Franco, 1982).

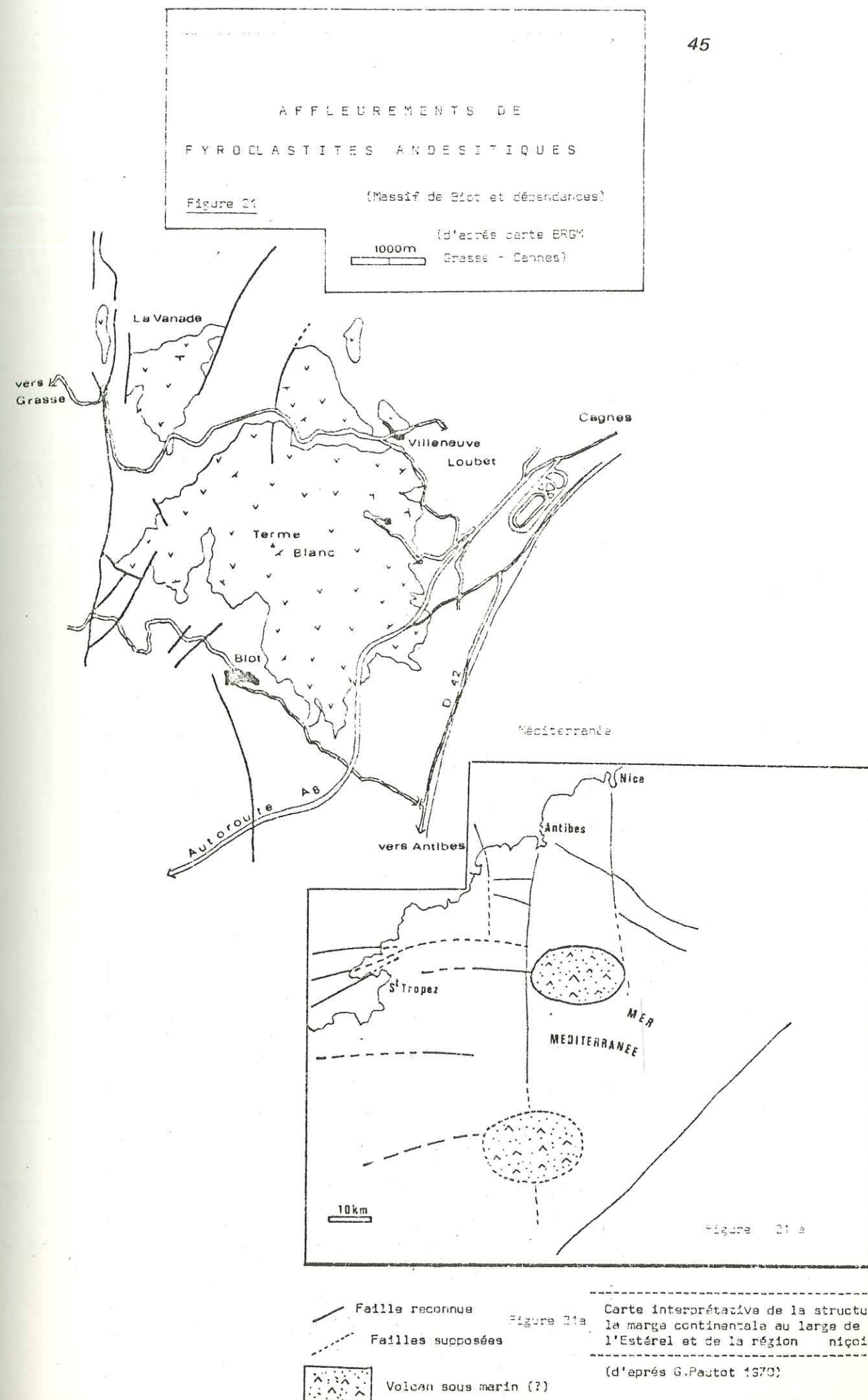
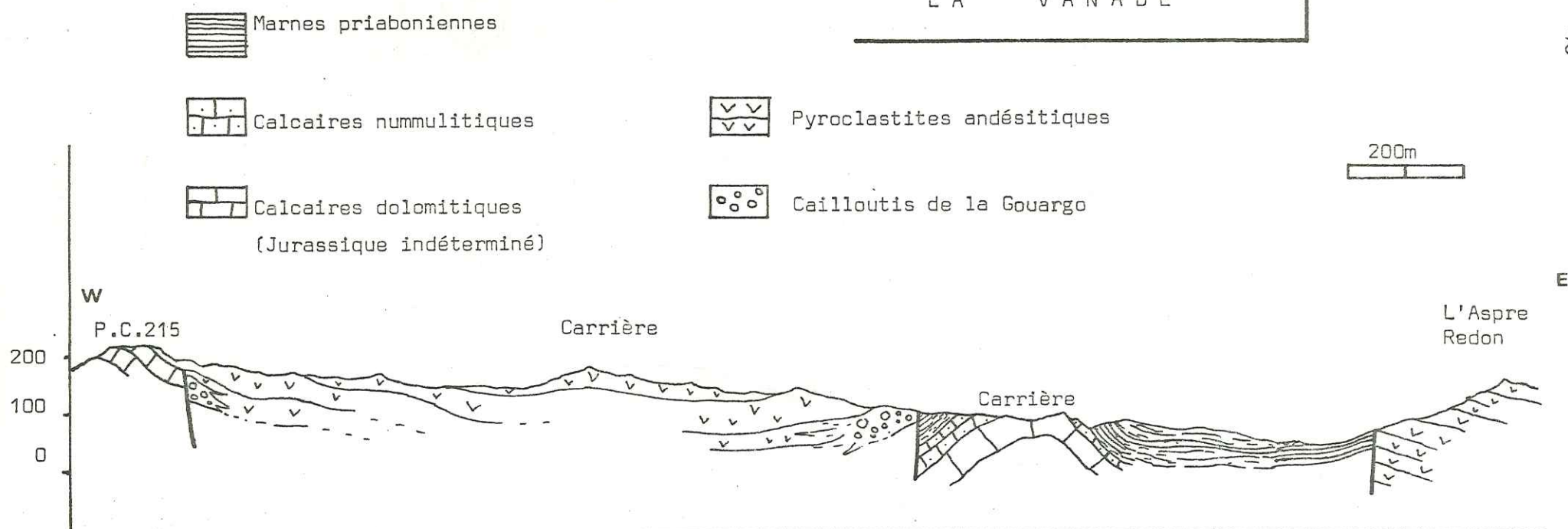




Figure 22

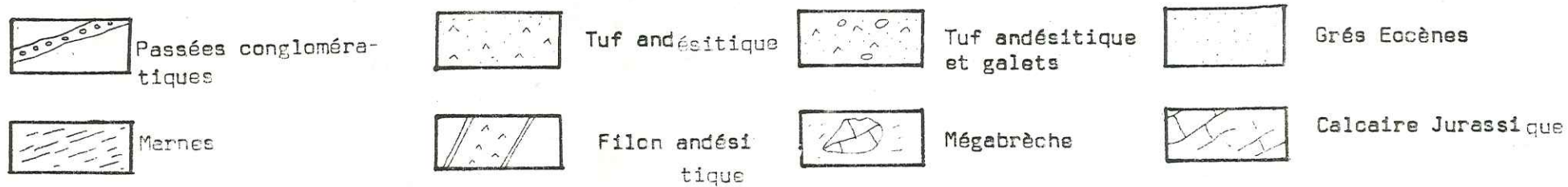
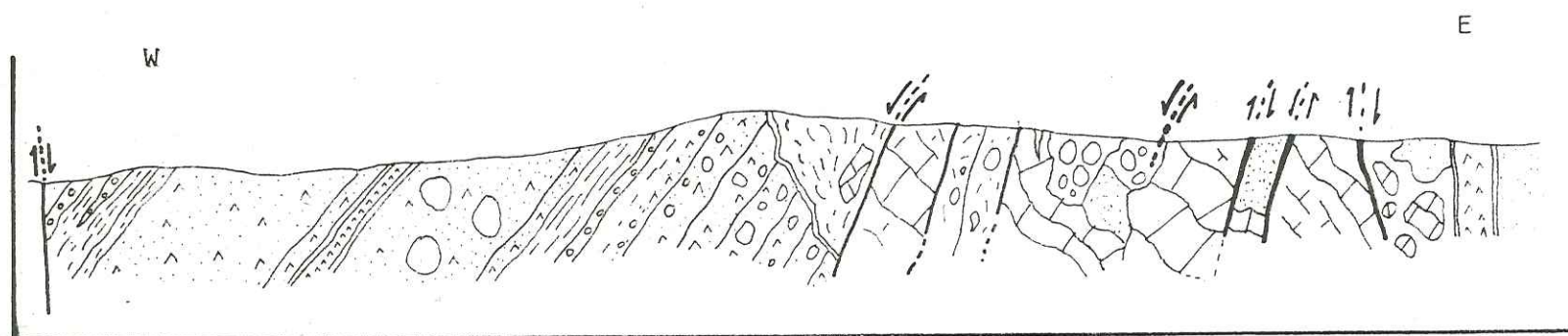
COUPE GEOLOGIQUE DU FOSSE DE  
LA VANADE



46

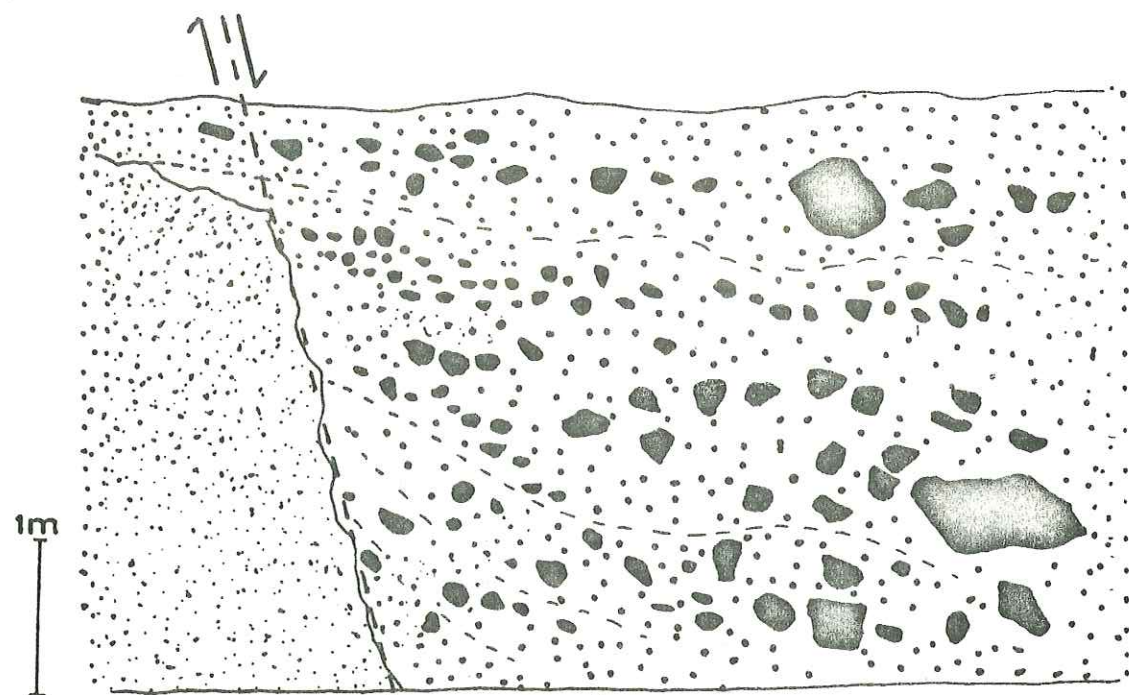
Coupe géologique du fossé de la Noria (J-D.GIRAUD, Ch.M ANGAN 1982)

Figure 23



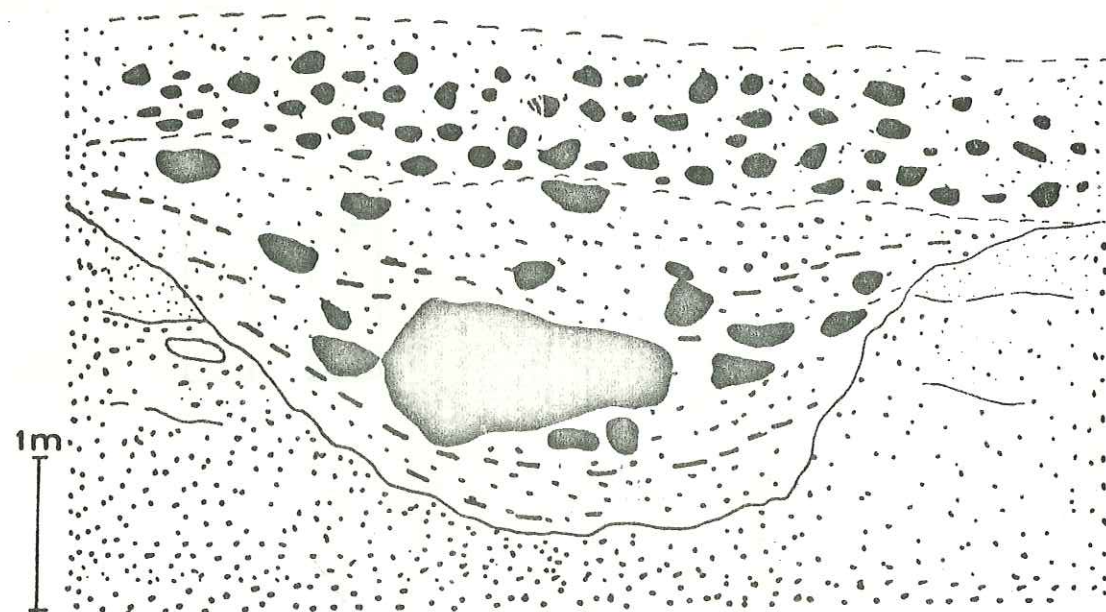
47





Fossé Nord Sud  
syntectonique. Figure 24 a

à remplissage volcano - sédimentaire



Chenal Nord-Sud comblé par du matériel volcano-sédimentaire

Figure 24 b



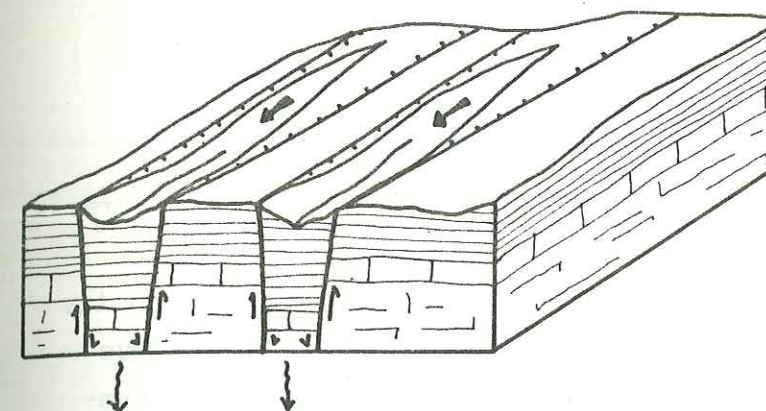
Volcano -  
sédimentaire



Pyroclastique franc  
(cinérites)

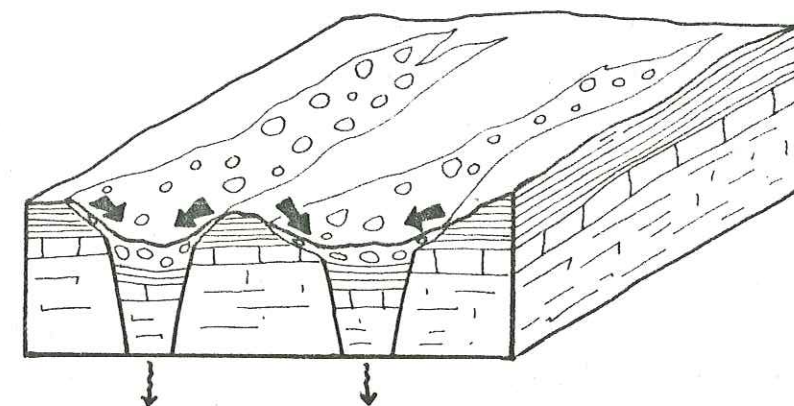


Faille bordière du fossé



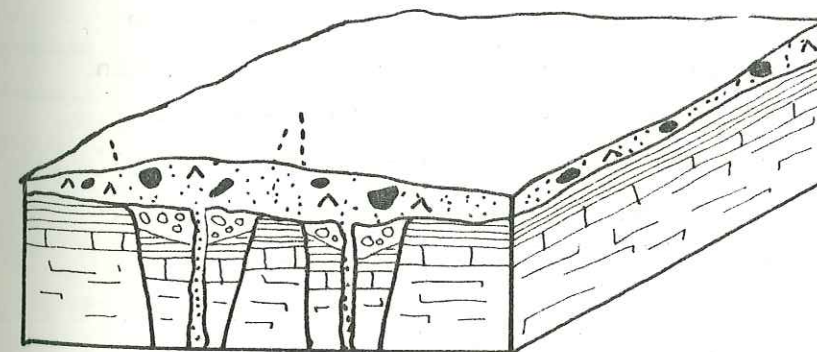
I

Début de l'effondrement - Drainage fluvial parallèle à la direction générale des fossés



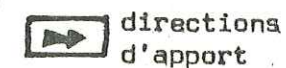
II

Creusement du fossé - Dépôt des formations syntectoniques (Faciès de La Gouargo)



III

Eruptions volcaniques (nuées ardentes et tufs intrusifs dans l'axe des fossés)



directions  
d'apport



tufs



faciès Gouargo



marnes priaboniennes



calcaires nummulitiques



calcaires jurassiques



## 2 a 3-2) Les affleurements de la R.N. 85.

A deux kilomètres environ, au Sud-Est de la Villa Maure, on peut observer en bordure de la R.N. 85 une passée de tufs dont les contacts avec l'encaissant jurassique sont malaisés à établir (C. Ghristi, 1982). Il semble peu probable qu'il s'agisse d'un pointement volcanique mais en revanche d'un lambeau de lahar impliqué dans la tectonique complexe qui affecte les calcaires à cet endroit.

REMARQUE : La présence de lahars en position aussi éloignée du volcan de Biot rend probable la présence d'autres points de sortie volcaniques actuellement recouverts par les chaînons sub-alpins méridionaux.

## 2 a 4) Le district de l'Estérel central (I-4).

Le porphyre bleu de l'Estérel (estérellite) affleure dans la partie méridionale de l'Estérel central (A. Michel-Lévy, 1912) sous forme d'un petit massif de contour sub-elliptique qui recoupe les terrains volcano-sédimentaires permien. L'étude géologique sur le terrain (J-D. Giraud, 1975) permet de différencier plusieurs types d'estérellites qui seront décrites dans le chapitre consacré à la pétrographie. La Carte 3 permet de décrire cette formation (J-D. Giraud, 1981).

## 2 a 4-1) Mode de mise en place des estérellites (Fig.27).

Le magma des estérellites s'est mis en place sous forme d'un petit pluton. Cette mise en place a provoqué au toit de l'intrusion un bombement d'ensemble des terrains encaissants et l'effondrement de lambeaux de terrains permien dans le magma intrusif (magmatic stoping). L'intrusion a été guidée par des accidents anciens principalement orientés Nord-Sud et surtout Est-Ouest qu'elle a injectés. A la périphérie s'observent des phénomènes d'injection, lit par lit, de l'estérellite entre les couches permien pouvant donner des laccolites satellites de l'intrusion (Boulouris, Prola, Castellás, cf. Carte 3). Une carte structurale du secteur où affleure l'intrusion permet de montrer la commande tectonique de sa mise en place (Fig.28).

## Carte Géologique du secteur de La Villa Maure

Figure 26 a

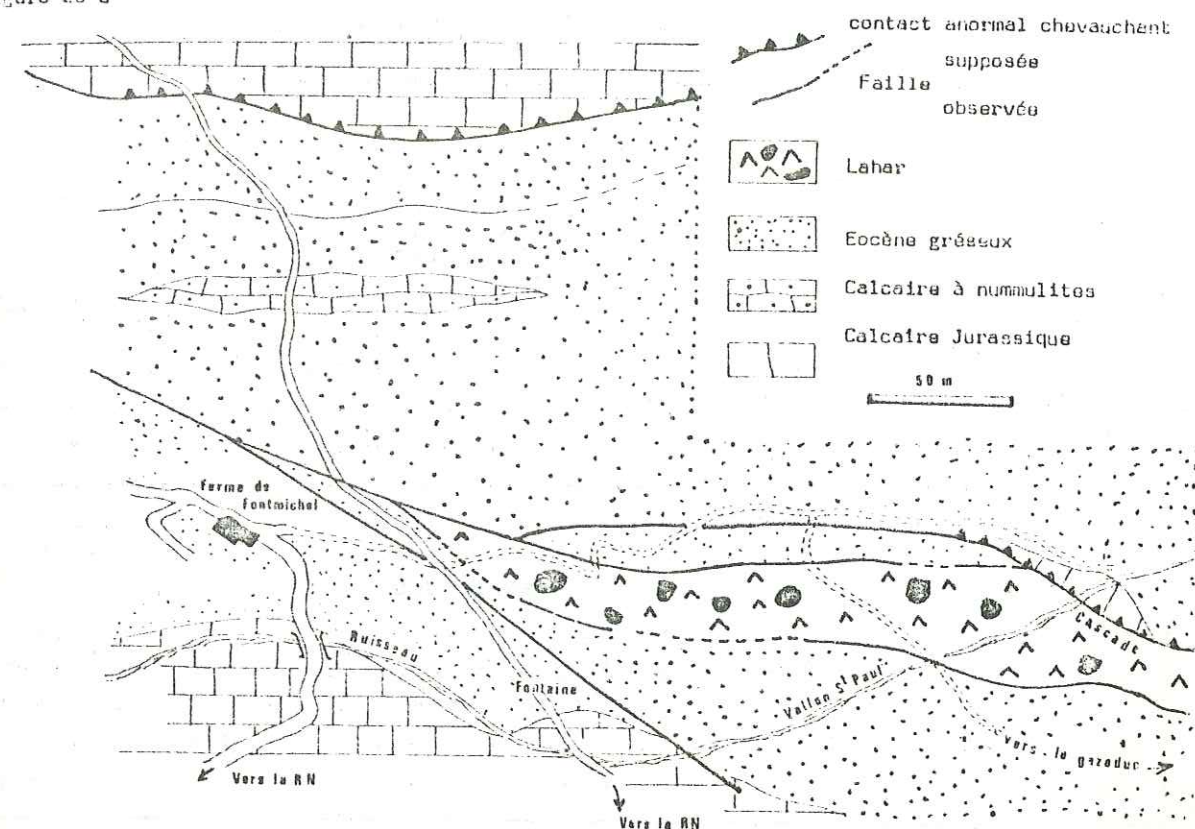
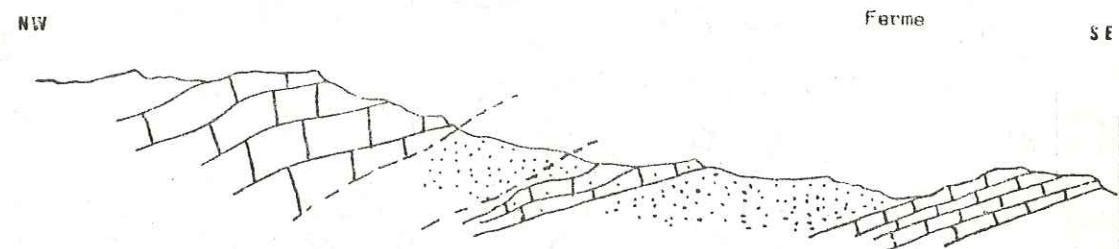
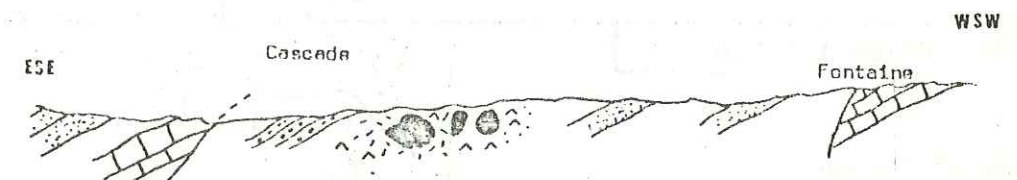


Figure 26 b) Coupes géologiques dans le secteur de la Villa Maure

## Coupe Géologique du chemin de Fontmichel



## Coupe géologique du vallon de Saint-Paul

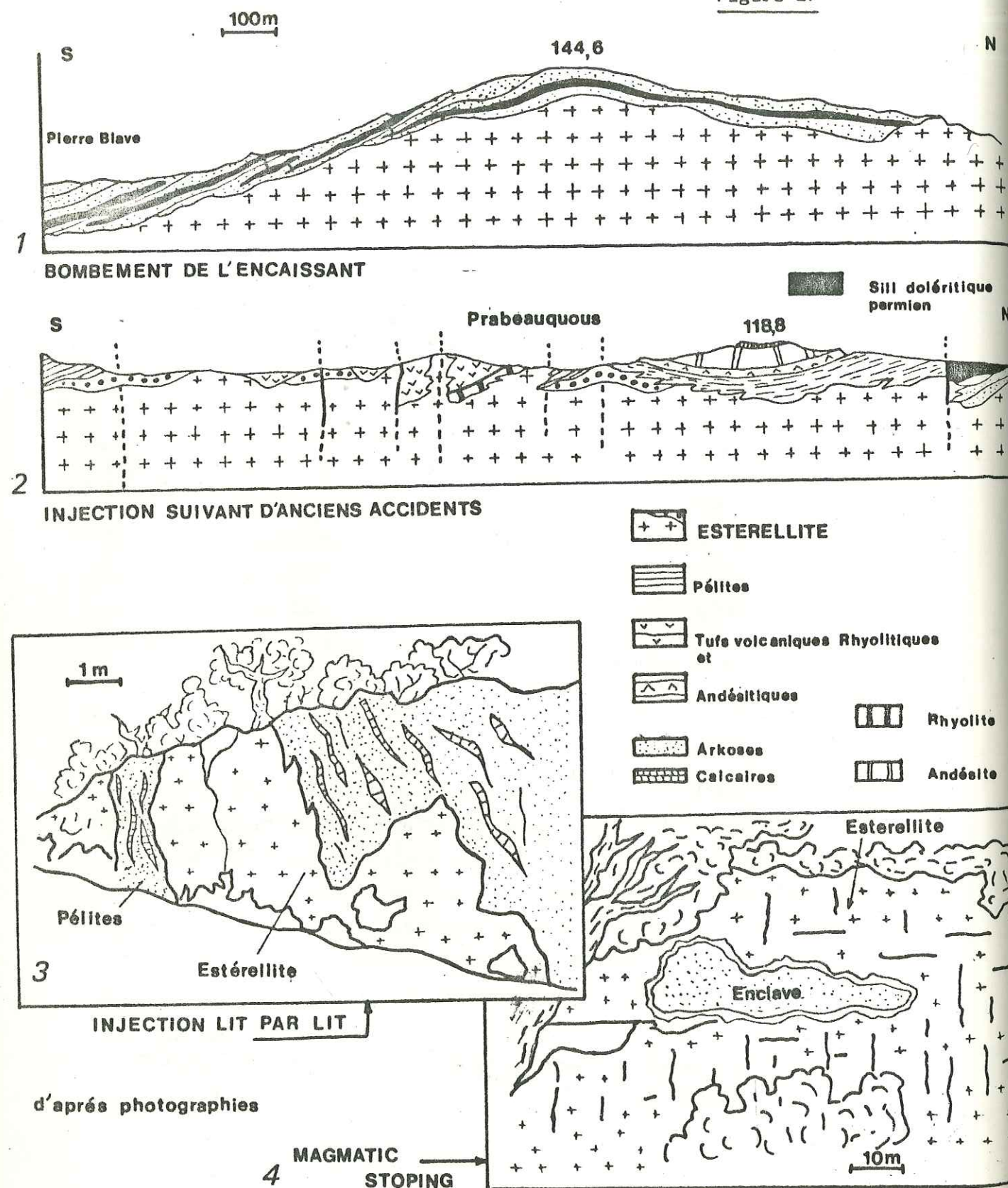




### Mode de mise en place de l'estérélite

52

Figure 27



d'après photographies

Figure 28

CARTES STRUCTURALES

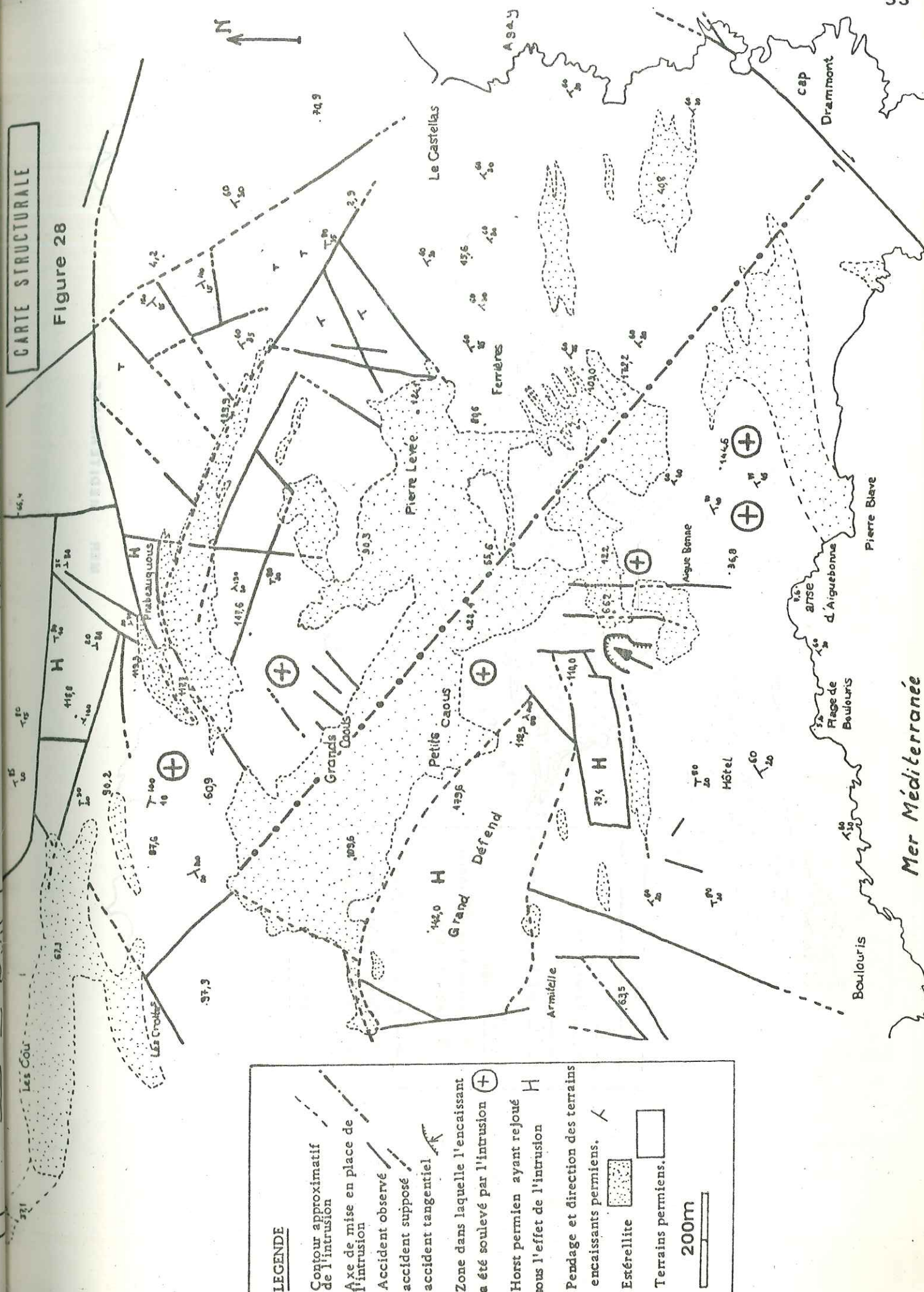
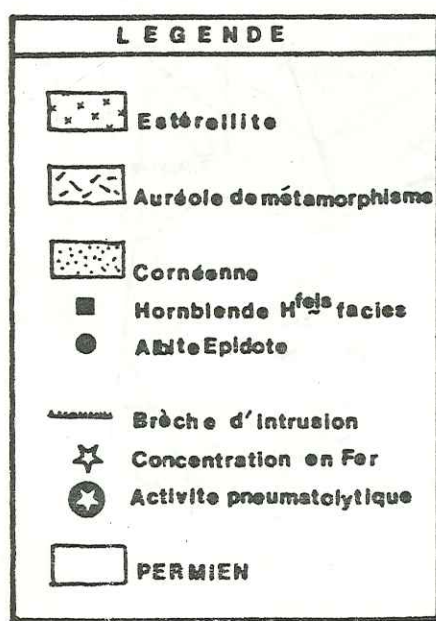
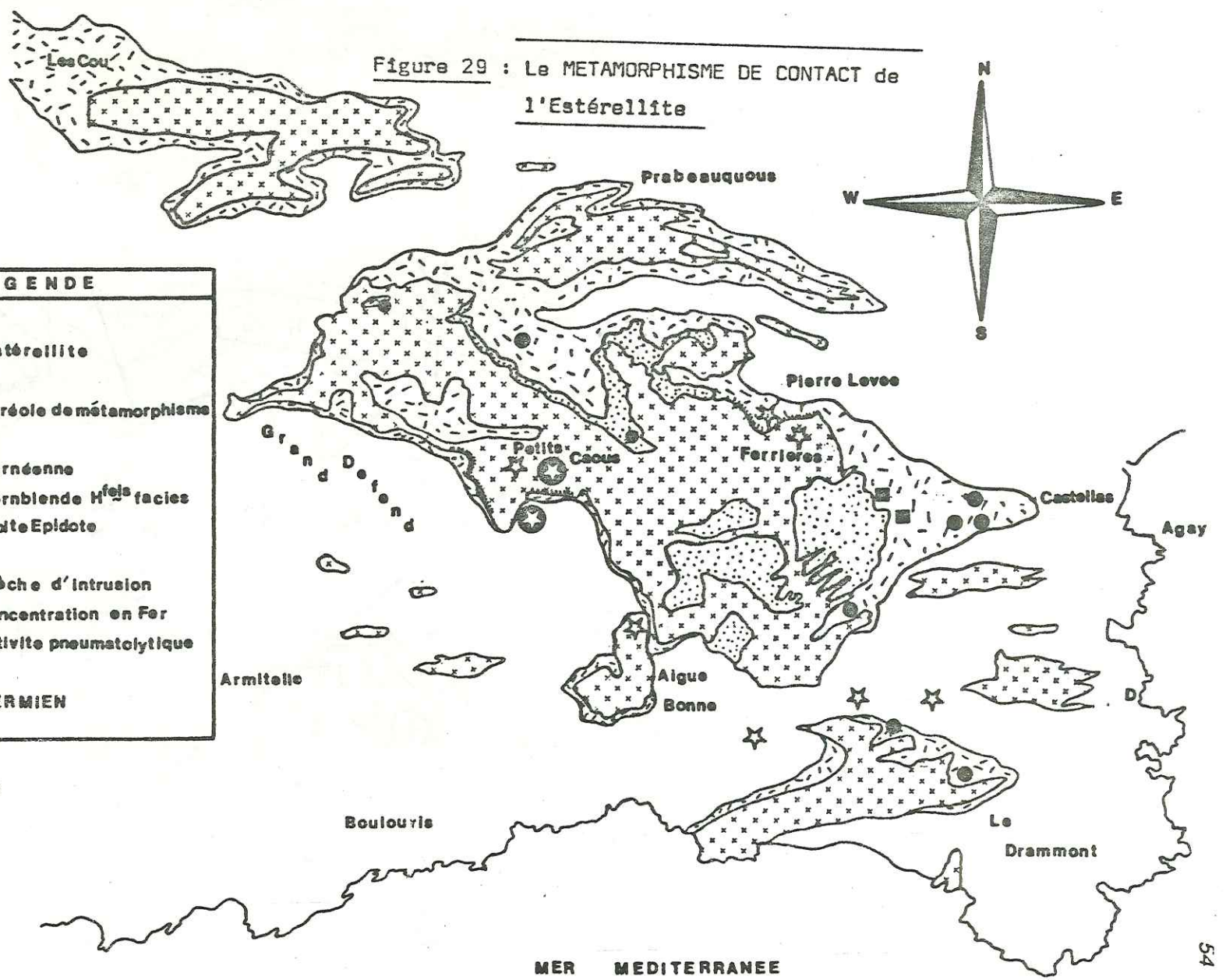




Figure 29 : Le METAMORPHISME DE CONTACT de l'Estérellite



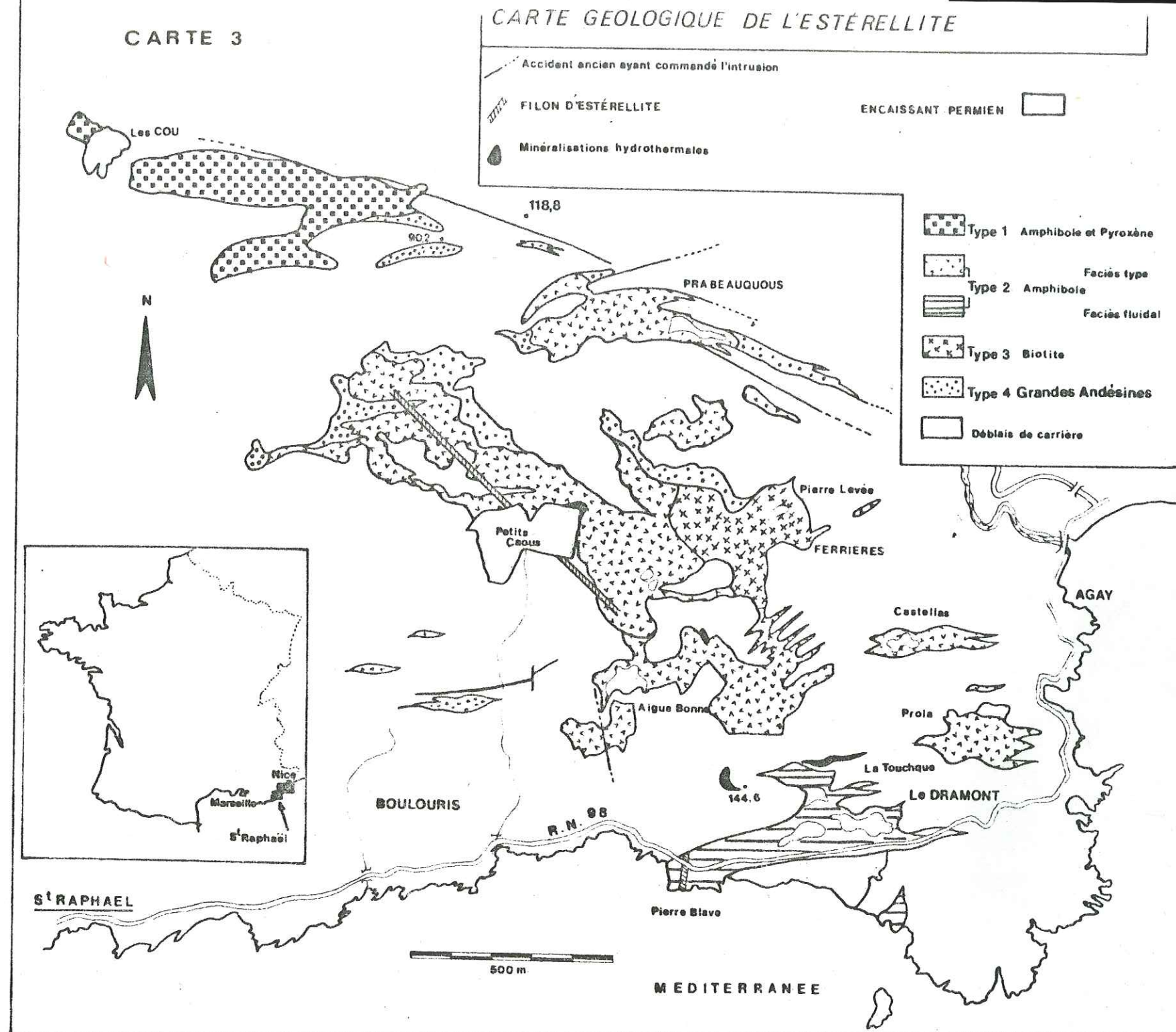
150m





CARTE 3

CARTE GEOLOGIQUE DE L'ESTÉRELLITE





2 a 4-2) Commande tectonique de la mise en place de l'estérellite (Fig.28).

L'intrusion s'est mise en place suivant un grand accident orienté Nord 140°Est, au point de concours avec un grand décrochement orienté Nord 50°Est, décrit sous le nom d'accident du Cap Drammont (M. Boucarut, 1971 ; J-D. Giraud, 1975). Ce grand décrochement senestre semble lié aux structures alpines contemporaines des estérellites et lié à une phase compressive à composante sub-méridienne (cf. paragraphe 2 b - 4).

2 a 4-3) Le métamorphisme de contact induit par l'intrusion (Fig.29).

Ses manifestations, bien que discrètes, sont responsables de l'apparition, dans l'ancaissant permien, de paragenèses minéralogiques de l'albite-épidote hornfels faciès (albite et épidote) et du hornblende hornfels faciès (andalousite et cordiérite) dans la nomenclature de H.G. Winkler.

## 2b) La Province Sub-Alpine Méridionale (P.II).

2 b - 1) Le district de Saint-Antonin (Carte 4).

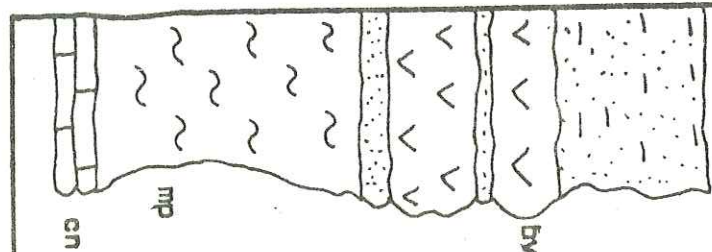
Les formations volcaniques oligocènes affleurent actuellement au coeur d'une structure plissée orientée Est-Ouest, le synclinal de Saint-Antonin déjà étudié par de nombreux auteurs en particulier J. Bodelle (1971), M. Le Guern (1979), J-D. Giraud (1980) et S. Touré (1981). Il s'agit du plus vaste des synclinaux nummulitiques du Sud-Est français qui présente l'originalité d'offrir un modèle parfaitement établi de volcanisme andésitique en place dans un bassin de sédimentation. Ce volcanisme s'apparente de très près au volcanisme précédemment décrit dans la Province Liguro-Provençale.

2 b 1-1) Historique des travaux antérieurs.

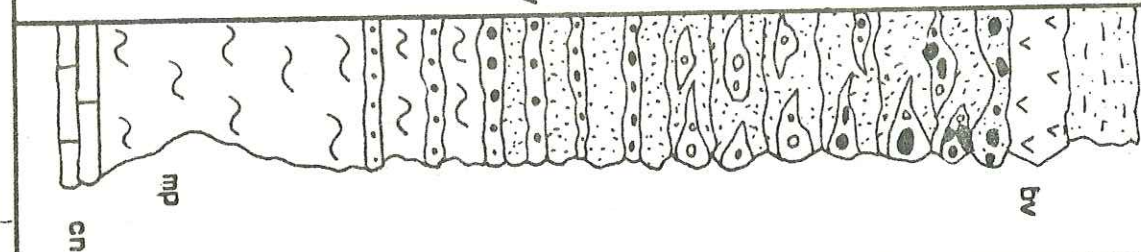
L. Bertrand (1898) conclut que les roches volcaniques de Saint-Antonin proviennent du littoral niçois. A.F. de Lapparent (1938) interprète différemment l'origine des blocs andésitiques en constatant que la série de Saint-Antonin est Oligocène alors que le volcanisme de



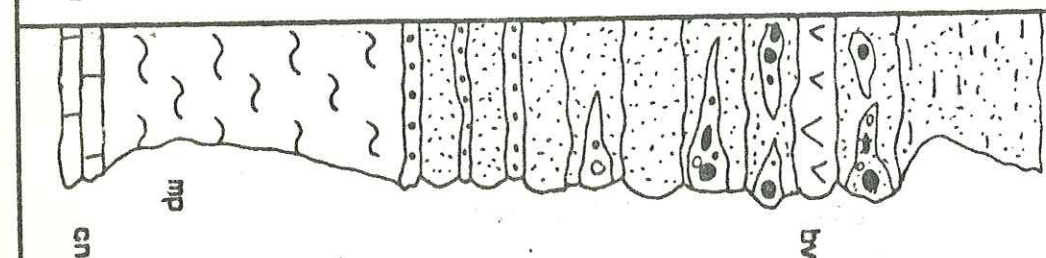
Ruisseau de Fontanne



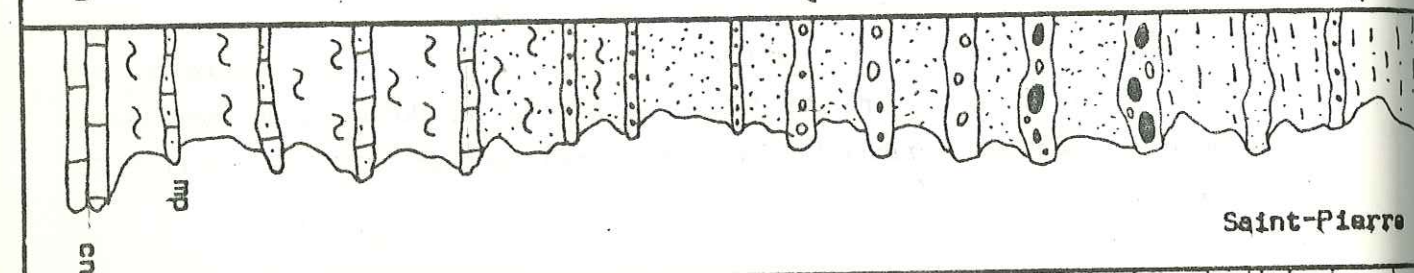
Chamengearde



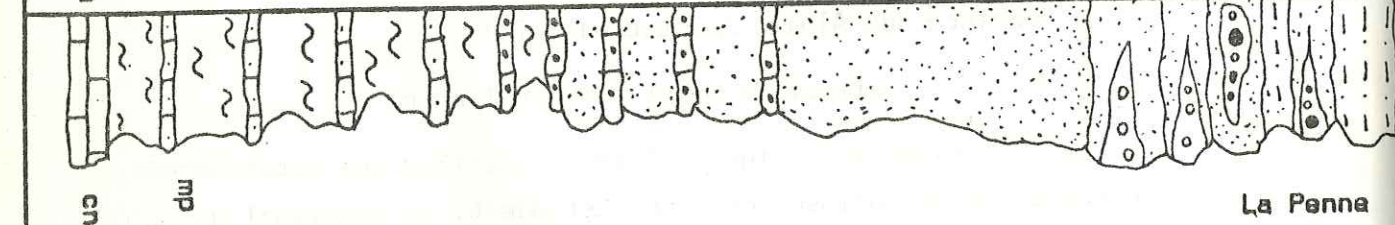
Bonvillar



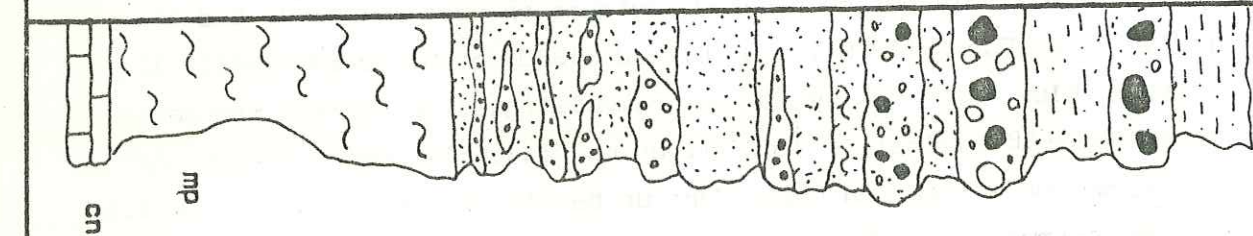
Saint-Pierre



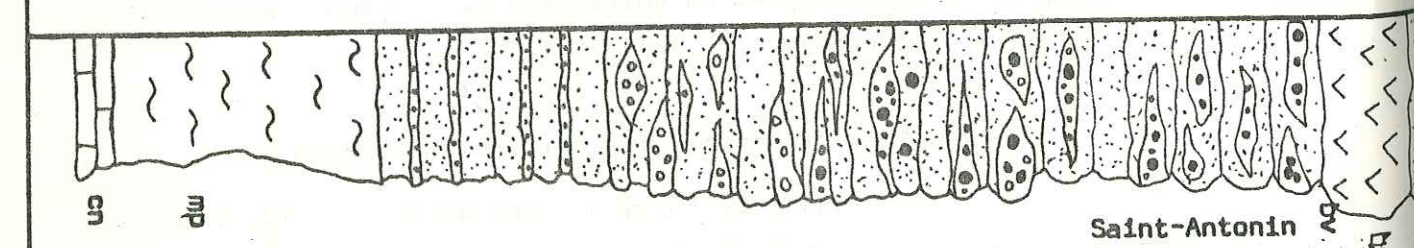
La Penna



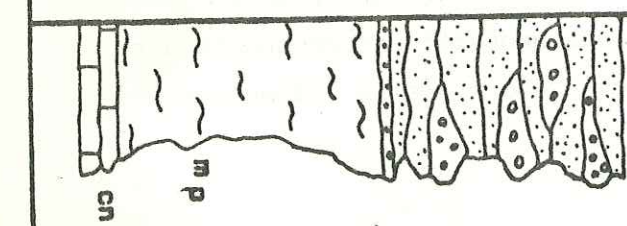
Sambuguel



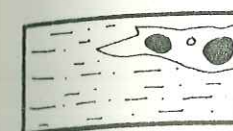
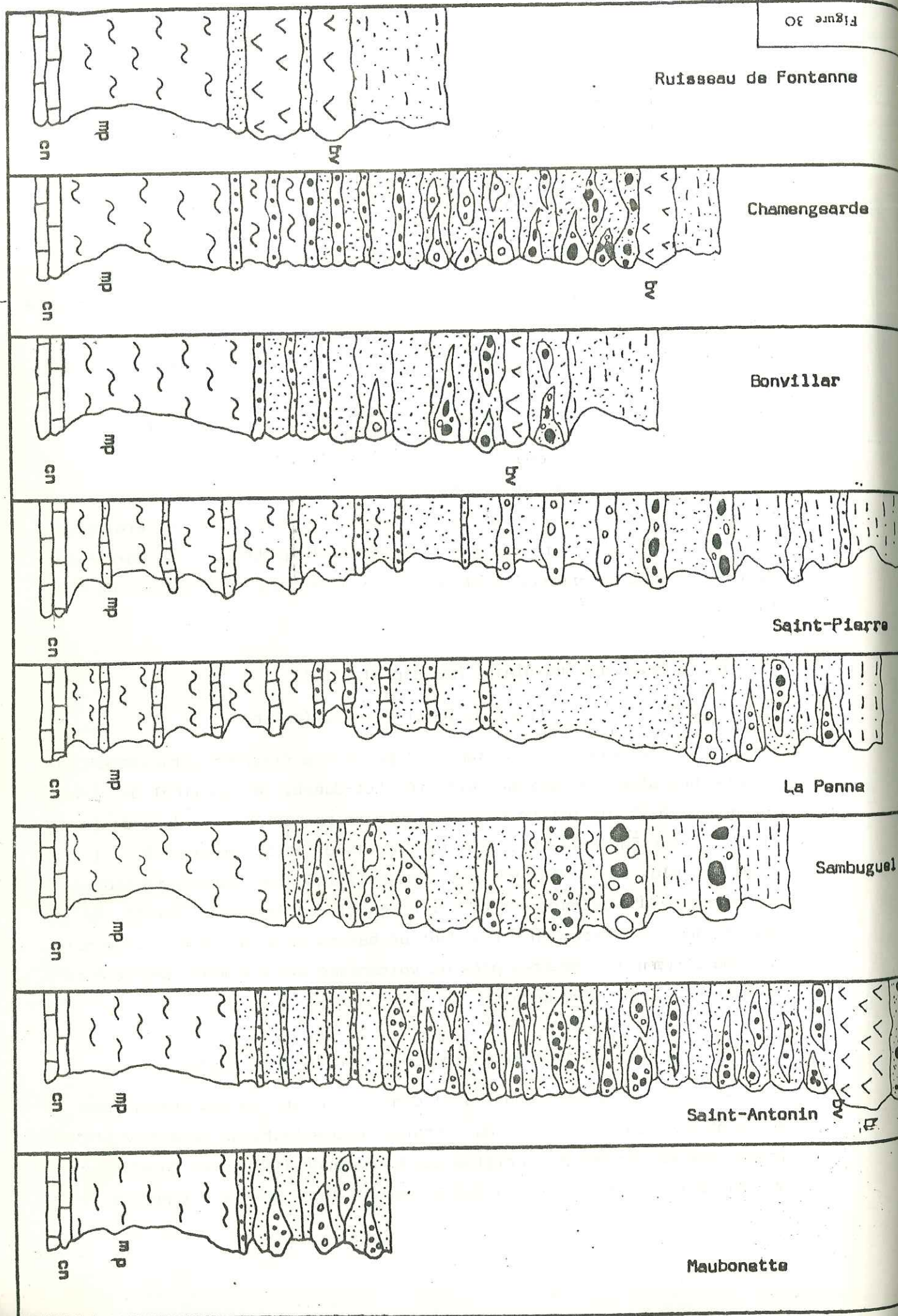
Saint-Antonin



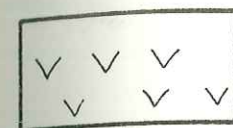
Maubonette



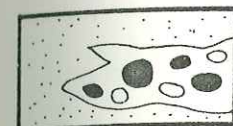




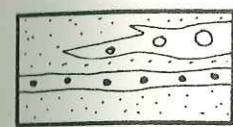
marnes gréseuses et conglomérats à blocs d'andésites



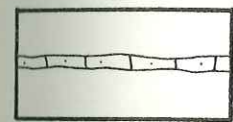
bv brèches volcaniques



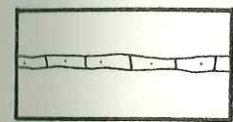
grés et lentilles conglomératiques à galets d'andésites



lentilles conglomératiques



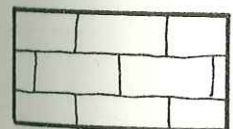
grés, sables



calcaires gréseux et  
grés interstratifiés dans les marnes priaboniennes



faciès marno-gréseux des marnes priaboniennes  
mp marnes priaboniennes



Cn calcaire nummulitique de base

Figure 30: LES FORMATIONS DETRITIQUES DU SYNCLINAL DE SAINT - ANTONIN

Légende commune à la figure 30 et aux coupes AB, CD, EF, GH se rapportant à la carte 4

Echelle:

2cm représentent environ 25 m en échelle verticale des Logs.



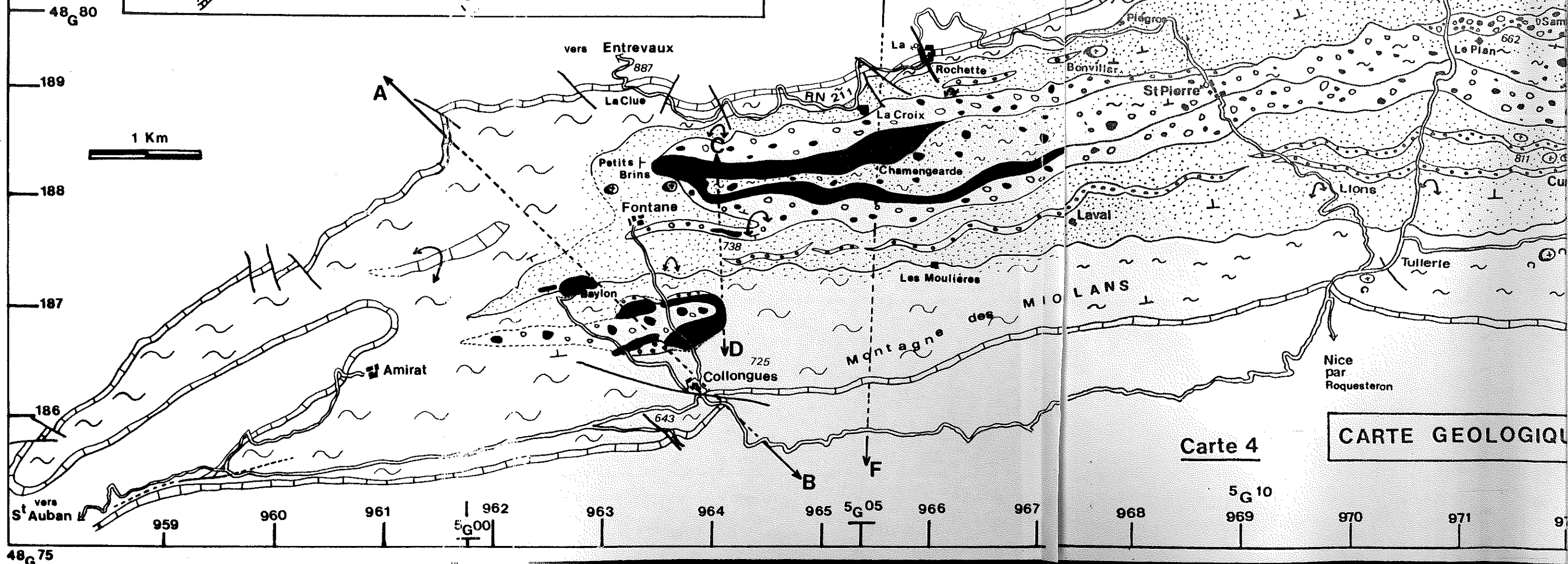
# LEGENDE

Faïlle  
synclinale  
Charnières  
anticlinale  
Contact observé  
supposé

Pendage et direction  
Blocs de granite  
Blocs d'andésite  
Localisation des coupes

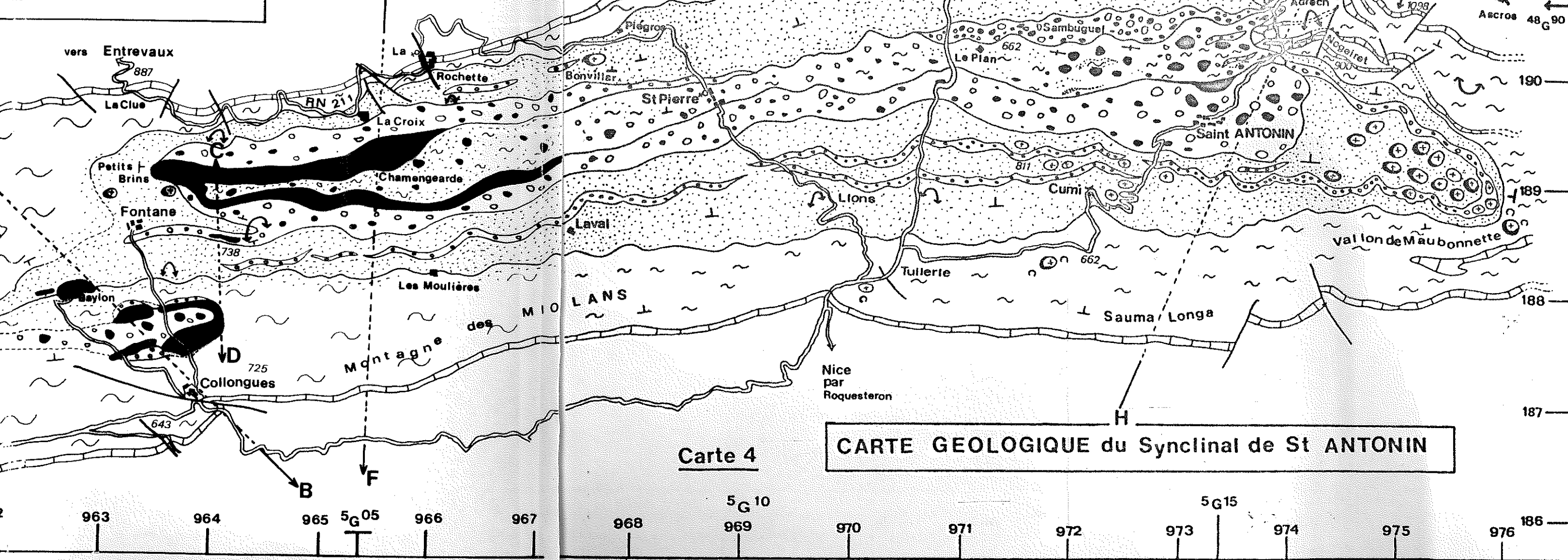
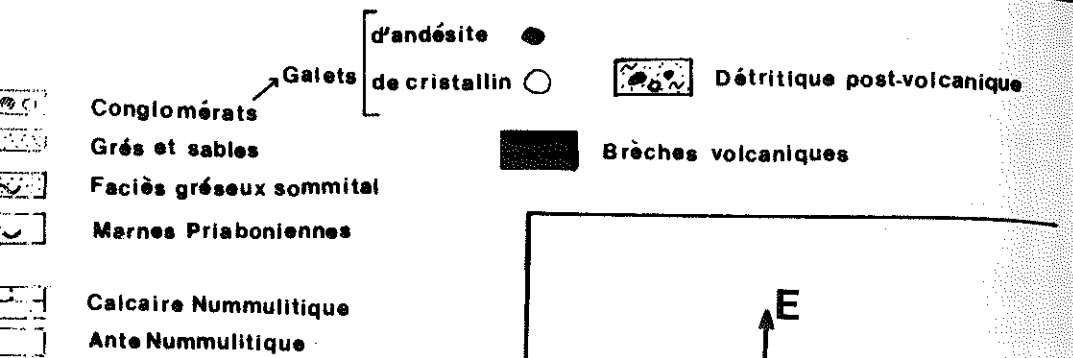
Conglomérats  
Grès et sables  
Facès gréseux sommital  
Marnes Priaboniennes  
Calcaire Nummulitique  
Ante Nummulitique

d'andésite  
de cristallin  
Détritique post-volcanique  
Brèches volcaniques



rtant







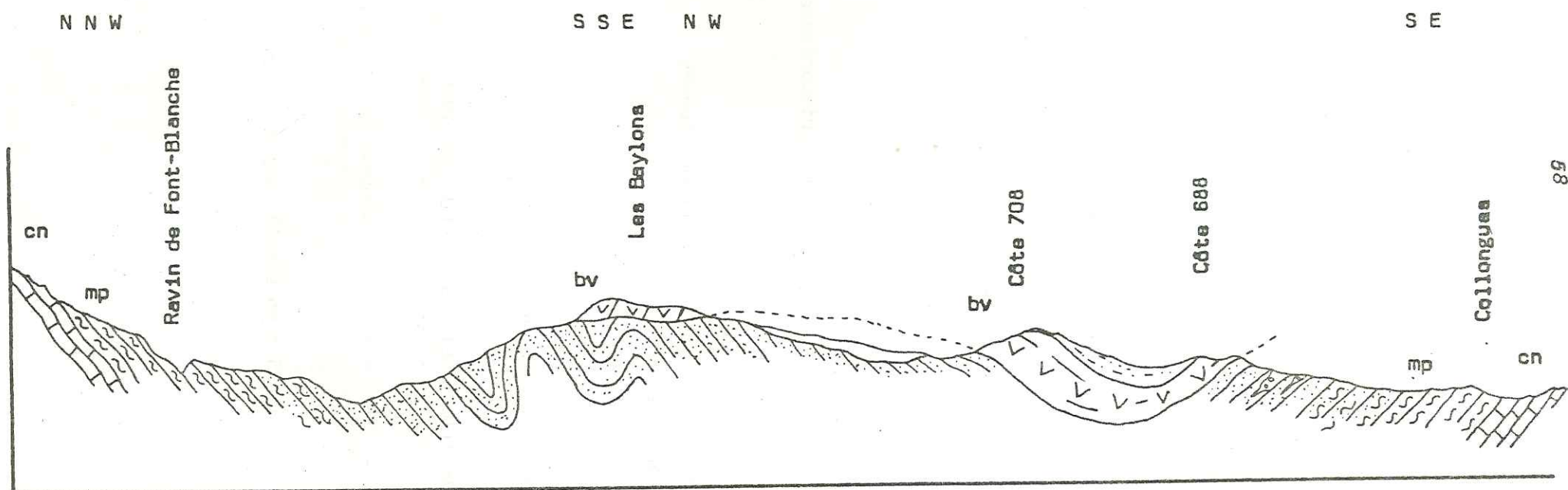


Figure 30 (a)  
Coupe A B (Localisation mentionnée carte 3)  
Légende Figure 30

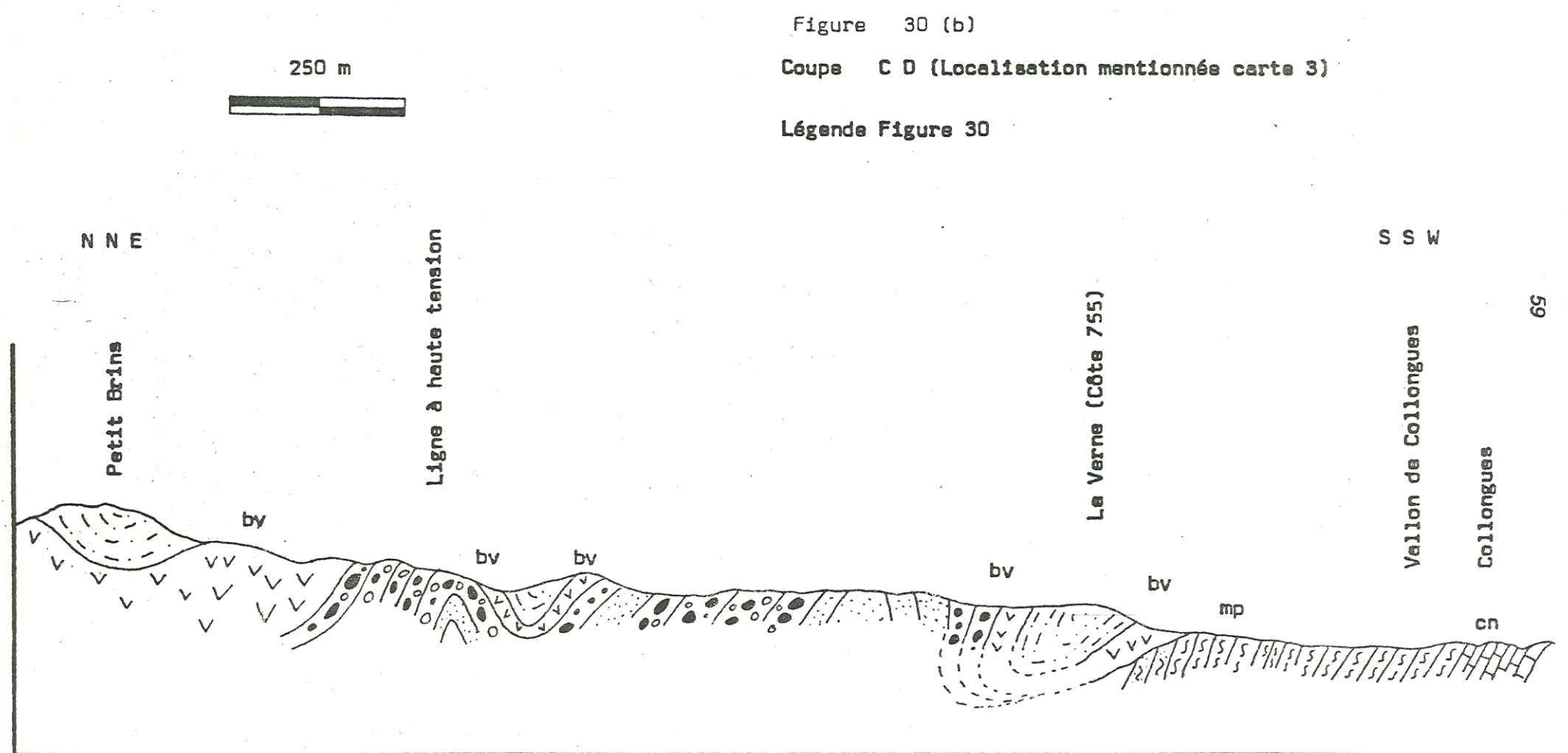


Figure 30 (b)  
Coupe C D (Localisation mentionnées carte 3)  
Légende Figure 30



Figure 30 (c)

Coupe E F (Localisation mentionnées carte 3)

Légende Figure 30

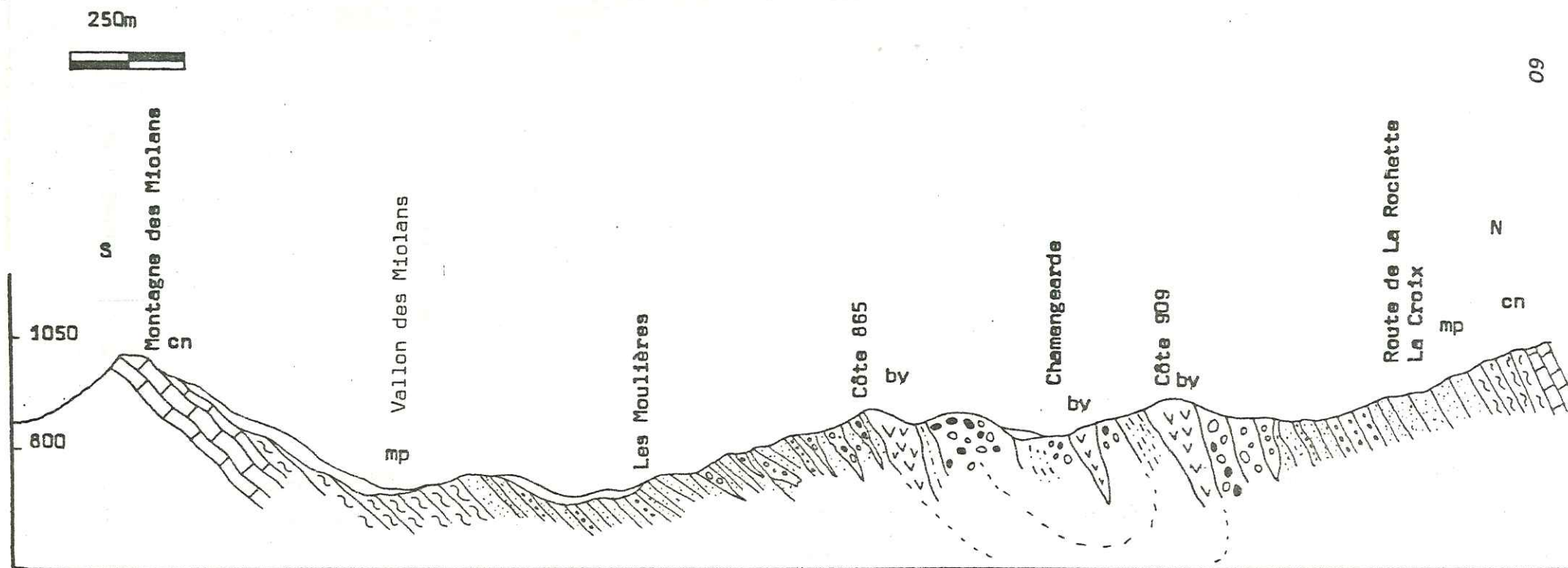
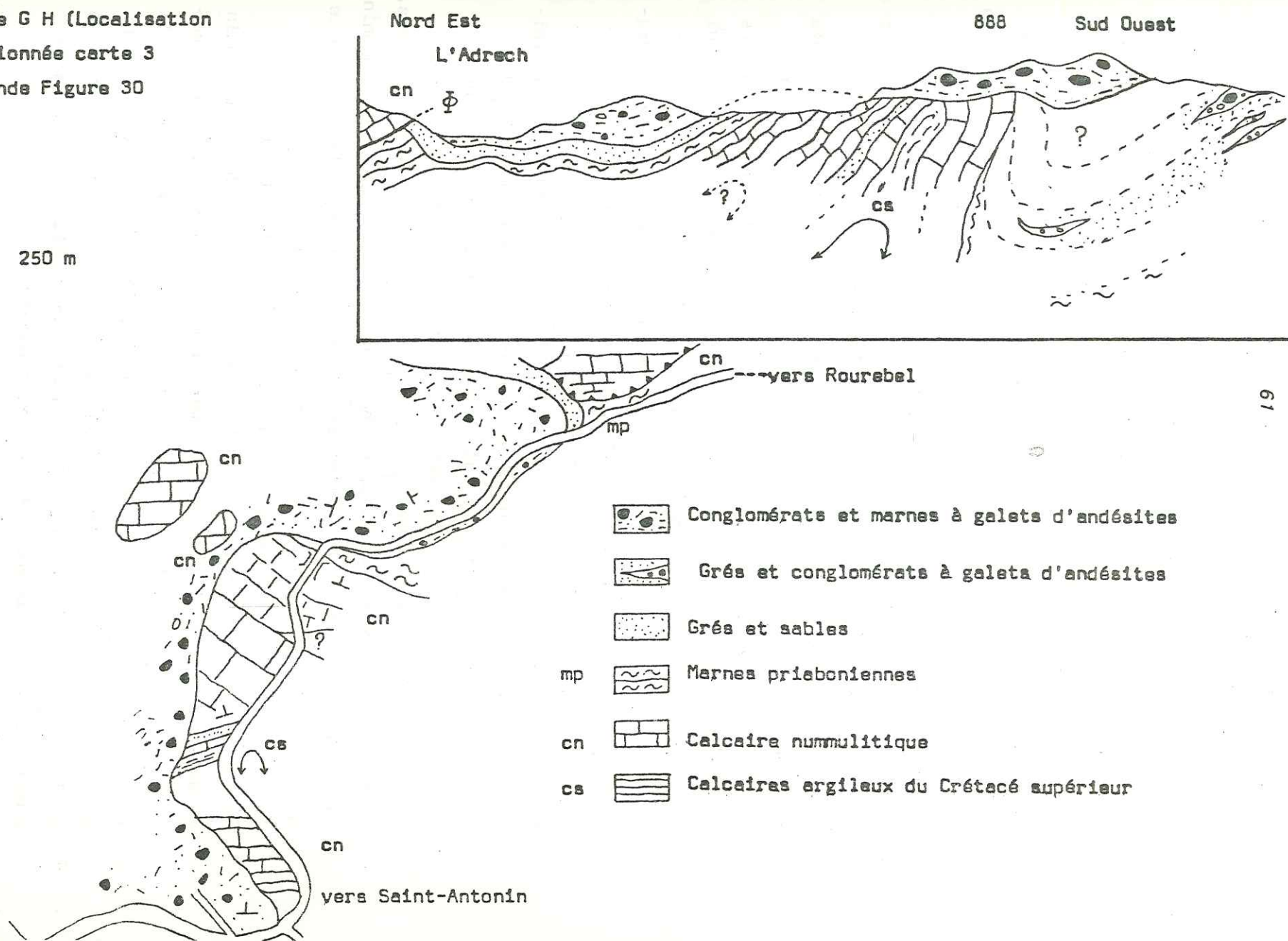


Figure 30 (d)

Coupe G H (Localisation mentionnée carte 3)

Légende Figure 30

250 m



- Conglomerats et marnes à galets d'andésites
- Grés et conglomerats à galets d'andésites
- Grés et sables
- Marnes priaboniennes
- Calcaire nummulitique
- Calcaires argileux du Crétacé supérieur



la région niçoise est Miocène ; il remarque de même l'analogie avec les roches du Champsaur. J. Goguel (1952) se prononce en faveur de l'autochtonie des brèches volcaniques dans lesquelles il décrit des bois carbonisés. Les points de sortie n'ayant pas été découverts, deux hypothèses étaient alors possibles : le culot volcanique aurait pu être masqué par les chevauchements septentrionaux, ou se trouver dans la partie centrale du synclinal où il aurait pu être recouvert par les dépôts récents. J. Goguel conclut en insistant sur l'analogie avec les tufs de la région niçoise. B. Biju-Duval (1953) étudie les formations de Saint-Antonin et décrit des phénomènes de cuisson à proximité des tufs volcaniques. J. Vernet (1964), à partir d'observations nouvelles, constate que les tufs volcaniques appartiennent à une formation discordante sur les sables clairs. Selon cet auteur, l'épisode volcanique, encadré par deux phases tectoniques vigoureuses pourrait dater du Miocène inférieur comme celui du littoral niçois. C. Alsac et al. (1969) effectuent une étude préliminaire sur les roches volcaniques du synclinal. L'étude de la pétrographie de ces roches restera à ce stade durant dix ans. En 1969, M. Boucarut et al. étudient la pétrographie des roches rencontrées dans les conglomérats polygéniques du synclinal. J. Bodelle (1971) décrit le volcanisme qu'il apparente à des formations de type lahar. En 1975, J.C. Baubron publie deux datations qui confèrent au volcanisme de Saint-Antonin un âge Oligocène. En 1978, J-D. Giraud et al. mettent en évidence des nuées ardentes dans le volcanisme tertiaire du littoral niçois. En 1979, M. Le Guern conclut à une dynamique de même type à Saint-Antonin. Il découvre, en outre, des filons andésitiques de taille plus importante que ceux décrits par J. Bodelle et améliore sensiblement les connaissances sur la pétrographie des roches volcaniques. J-D. Giraud et al. (1980) émettent l'hypothèse selon laquelle le synclinal de Saint-Antonin aurait évolué, durant l'Oligocène, dans un contexte de plissement synsédimentaire sous l'effet d'une compression sub-méridienne. S. Touré (1981) confirme ce modèle et son étude du contexte paléogéographique du bassin permet de préciser, en outre, les caractères d'un socle actuellement non affleurant et qui aurait alimenté en roches cristallines et cristallophylliennes le bassin oligocène de Saint-Antonin.

## 2 b 1-2) Stratigraphie des formations tertiaires du synclinal de Saint-Antonin.

La série tertiaire débute par une formation d'environ 50m de puissance de marnes et calcaires nummulitiques observables en particulier dans le secteur des Mujouls. Cette formation est surmontée par un conglomérat à microcodium (J. Bodelle, 1971). Viennent ensuite les calcaires gréseux de l'Eocène supérieur. Ils affleurent dans l'ensemble du secteur et forment une barre rocheuse caractéristique (entailée en clue par le Rioulan et le ruisseau de Fontanne). Les marnes sus-jacentes sont analogues à celles décrites sur le littoral niçois (marnes priaboniennes). Leur sommet a été daté Eocène supérieur (J. Bodelle, 1971). Une puissante série détritique, pouvant atteindre localement 300m d'épaisseur (vallon des Miolans, Maubonette), surmonte ces marnes et marque l'apparition d'une sédimentation de plus en plus grossière. J. Bodelle (1971) a subdivisé les séries détritiques du synclinal de Saint-Antonin en trois formations, les brèches volcaniques faisant partie de la "seconde".

Nous avons préféré considérer qu'il s'agissait, en fait, d'une série continue dont le dépôt avait été perturbé par le volcanisme (J-D. Giraud, 1981). L'activité volcanique s'est concrétisée par le dépôt de brèches volcaniques de nuées ardentes (J-D. Giraud, 1978 ; M. Le Guern, 1979). Postérieurement, une phase de démantèlement se traduit par la formation de conglomérats, grès et marnes à blocs et galets d'andésites. Nous avons résumé, sur quelques logs synthétiques, les observations et corrélations stratigraphiques effectuées sur les séries détritiques du synclinal de Saint-Antonin (Fig.30).

## 2 b 1-3) Structure du synclinal de Saint-Antonin (Carte 4).

La carte géologique du synclinal de Saint-Antonin permet d'effectuer les observations suivantes :

\* Le synclinal de Saint-Antonin s'étend d'Est en Ouest sur une distance de plus de 15 km. Son ossature est constituée par les niveaux calcaires du Nummulitique qui ressortent dans le paysage sous forme d'une barre profondément entaillée en clue par les cours d'eau. Le flanc septentrional du synclinal est légèrement renversé, en particulier dans les secteurs de La Penne, La Rochette et Amirat. La fermeture péri-synclinale



s'observe très bien dans le secteur oriental (Maubonette) mais est plus difficile à mettre en évidence dans le secteur occidental (Amirat). Les terrains les plus récents affleurent au centre de la structure qui est affectée de nombreux replis.

\* Les brèches volcaniques sont discordantes sur leur substratum en particulier dans le secteur des Baylons (Coupe AB) et sur la rive gauche du ruisseau de Fontanne (Coupe CD). Elles peuvent, en effet, reposer directement sur les marnes priaboniennes, en particulier dans le secteur occidental du synclinal où manquent pratiquement tous les termes de la série détritique ante-volcanique.

\* On observe, au sein des séries détritiques ante-volcaniques, de nombreuses discordances internes (EF) suggérant l'instabilité du milieu de dépôt. Le caractère très grossier de la sédimentation des assises détritiques ante-volcaniques vient confirmer cette hypothèse (J-D. Giraud, 1980).

\* Dans le secteur oriental du synclinal (Coupe GH), en particulier dans la région de l'Adrech, la série détritique postérieure au volcanisme repose en discordance sur les calcaires nummulitiques plissés en anticlinal. Cette même série post-volcanique repose en concordance sur les séries détritiques sous-jacentes, en particulier au centre du synclinal où les brèches volcaniques sont absentes et remplacées par des équivalents latéraux (grès riches en matériel volcanique).

Ces différentes observations (J-D. Giraud, 1980) montrent que le bassin de sédimentation des séries détritiques et volcaniques du synclinal de Saint-Antonin a évolué, durant l'Oligocène, sous le contrôle d'un épisode continu de plissement commandé par une composante dominante sub-méridienne. Les reconstitutions paléogéographiques qui font l'objet du prochain paragraphe confirment ce modèle.

2 b 1-4) Reconstitutions paléogéographiques : Le volcanisme dans le contexte de la sédimentation oligocène. Le problème des zones d'alimentation du matériel détritique.

Les grès et conglomérats des séries détritiques du synclinal de Saint-Antonin ont préoccupé nombre de géologues en raison de la variété des roches cristallines et sédimentaires que

l'on y rencontre à l'état de fragments, de galets ou de blocs gigantesques. M. Boucarut et J. Bodelle (1969) concluaient à une alimentation à partir des massifs cristallins de l'Argentera, du Pelvoux et du bloc Corso-Sarde. La découverte de blocs de granites de plusieurs mètres cube (J. Vernet, 1964) remettait en question cette interprétation car il semblait alors impossible d'envisager des zones d'alimentation aussi éloignées du bassin de sédimentation. Les méthodes classiques d'investigation pétrographiques ne suffisant plus pour résoudre le problème de l'origine de ces roches, nous avons eu recours à la méthode typologique de caractérisation des populations de zircon accessoire (J-P. Pupin et G. Turco, 1972) appliquée soit aux galets et blocs inclus dans les conglomérats, soit aux ciments de ces différents conglomérats (S. Touré, 1981). Cette méthode a permis de montrer que :

- Une partie des roches trouvées dans les conglomérats polygéniques peut effectivement provenir des massifs connus actuellement à l'affleurement (Massif des Maures, Estérel). Le massif de l'Argentera n'affleurerait vraisemblablement pas à l'Oligocène (J.P. Ivaldi, 1973). Quant à la contribution du bloc Corso-Sarde, elle est hypothétique.
- Les autres roches, beaucoup plus nombreuses (en particulier les gigantesques blocs de granite), contiennent des populations de zircons différentes de celles observées dans des roches analogues connues actuellement dans des socles régionaux (S. Touré, 1981).

REMARQUE : La méthode typologique a été employée pour la première fois pour tenter l'approche d'un problème paléogéographique complexe. Son utilisation a été rendue possible par une parfaite connaissance des zircons des roches endogènes de la région étudiées (J-P. Pupin, 1976) et, plus généralement, dans les roches granitiques françaises (J-P. Pupin, 1981).

L'ensemble de ces données nouvelles nous permet de supposer que le bassin de sédimentation des séries détritiques de Saint-Antonin était alimenté à l'Oligocène par un massif cristallin très proche du bassin et actuellement inconnu à l'affleurement. Le passage brusque d'une sédimen-



tation marneuse à une sédimentation détritique grossière évoque un "accident" dans l'histoire du bassin en rapport, selon nous, avec une tectonique de réactivation des reliefs avoisinants (J-D. Giraud, 1981). Le paroxysme des déformations semble correspondre à l'évènement volcanique qui intervient durant la sédimentation. L'apparition de végétaux dans les dépôts volcaniques indique le caractère sub-aérien des dépôts qui semblent correspondre à des épandages détritiques de piémont drainés par des cours d'eau à style torrentiel (J. Stanley, 1980). La taille des éléments inclus dans les conglomérats, l'absence totale de tri des matériaux et le caractère ravinant de l'ensemble des séries rappelle les dépôts des torrents alpins. Il convient, cependant, d'être prudent en l'absence d'étude sédimentologique sérieuse. La Figure 31 présente une tentative de reconstitution de l'histoire du bassin de sédimentation de Saint-Antonin durant l'Oligocène.

#### 2 b 1-5) Caractères du volcanisme de Saint-Antonin.

J. Bodelle (1971) interprétait les brèches volcaniques de Saint-Antonin comme des lahars. Les études récentes (J-D. Giraud, 1978 ; M. Le Guern, 1979) montrent qu'il s'agit de brèches de nuées ardentes.

Nous avons choisi de présenter deux secteurs du synclinal de Saint-Antonin où ces brèches volcaniques sont particulièrement puissantes et démonstratives.

\* Dans le secteur des Petits Brins (Carte 3) les épanchements pyroclastiques sont particulièrement bien représentés. La coupe du vallon de Fontanne (Fig. 32) permet de distinguer deux épisodes explosifs. On remarquera la nette discordance des tufs volcaniques sur le substratum représenté par les marnes bleues de l'Eocène supérieur. Les conglomérats font défaut.

\* Dans le secteur de Chamengearde et du point coté 909, les brèches sont, là-aussi, très épaisses et, dans le secteur de Chamengearde, on note la présence de deux éruptions bien distinctes, séparées par une période de sédimentation détritique marquée par le dépôt de quelques bancs conglomératiques. Dans le vallon du Cheinet les brèches volcaniques renferment de très grands blocs d'andésite massive que M. Le Guern (1979) interprétait, à juste titre, comme des fragments d'édifices extrusifs (dômes ou aiguilles) démantelés par les nuées ardentes.

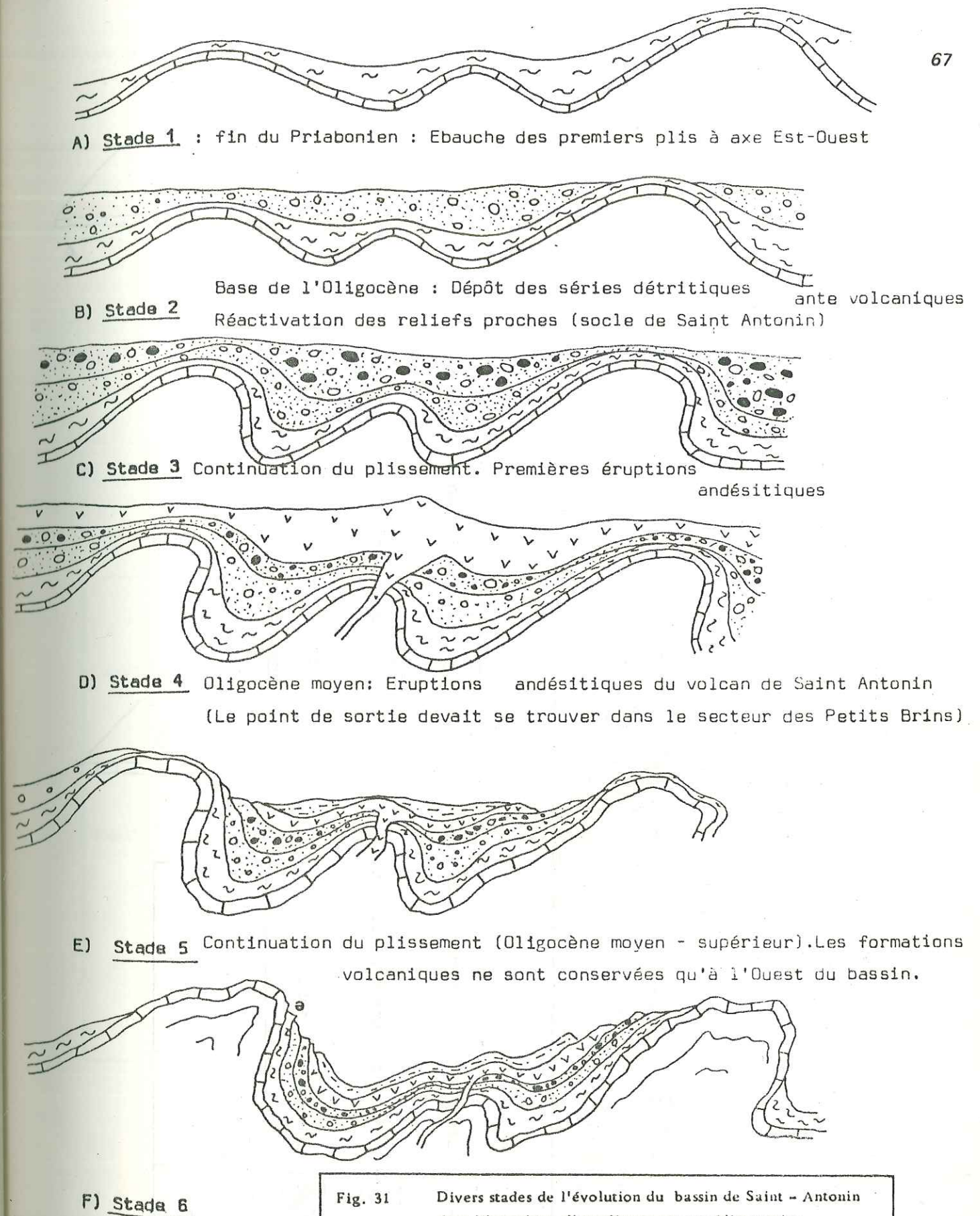


Fig. 31 Divers stades de l'évolution du bassin de Saint-Antonin dans l'hypothèse d'un plissement synsédimentaire.

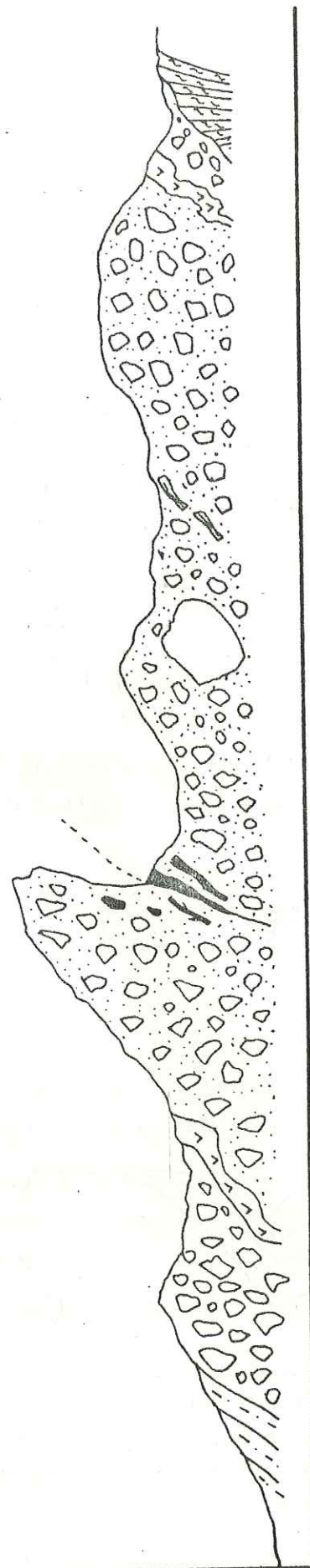
#### F) Stade 6

Dépôt des séries

détritiques post-volcaniques (Oligocène supérieur (?))



SUD



Filon andésitique



Marnes priaboniennes



5m

Détritique post-volcanique



Nuées ardentes andésitiques



Bois incarbonnés



Coupe Géologique des pyroclastites andésitiques  
de la rive gauche du ruisseau de Fontaine

Fig. 32

68

69

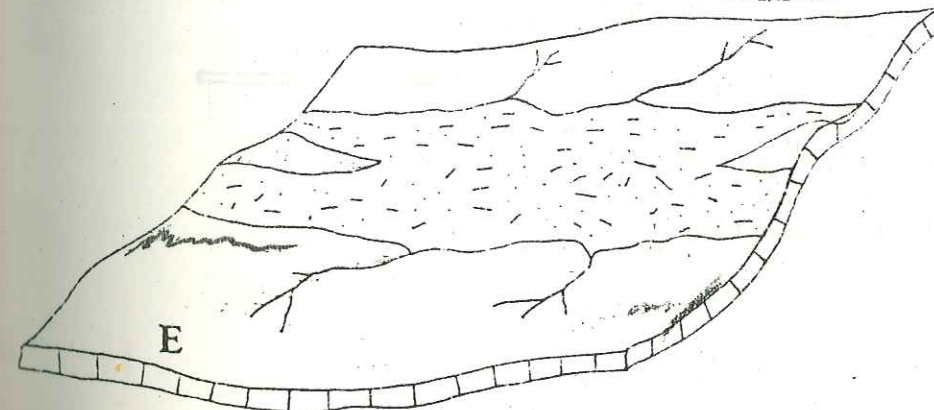
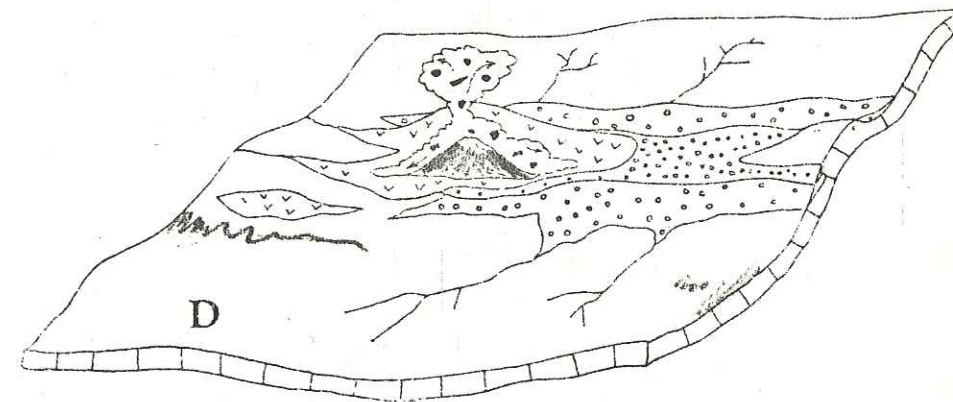
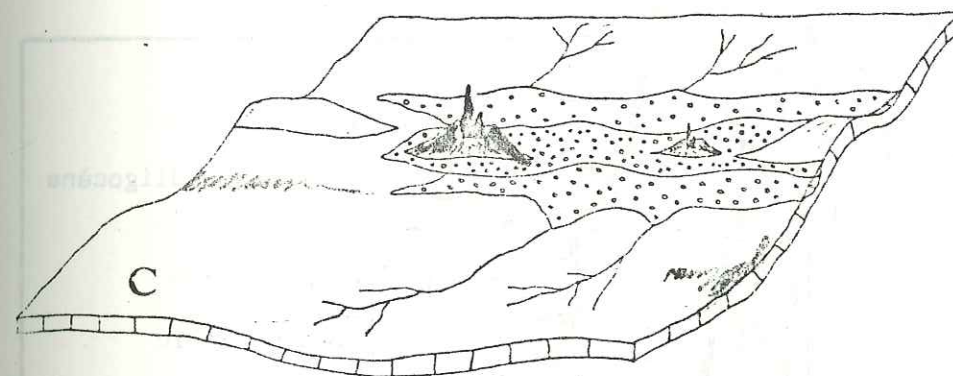
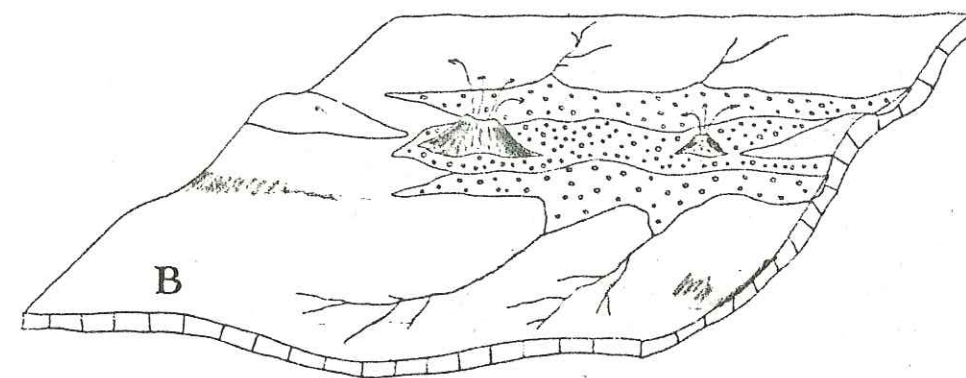
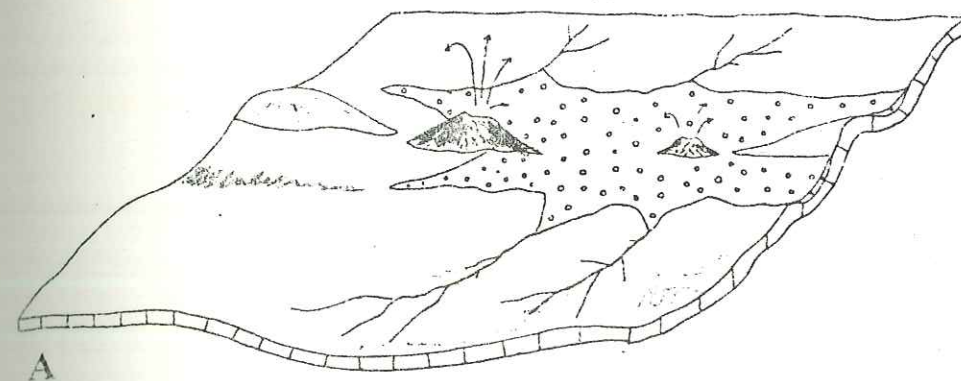


Figure 33  
Reconstitution hypothétique  
de l'activité volcanique  
dans le bassin paléogène de  
Saint - Antonin.



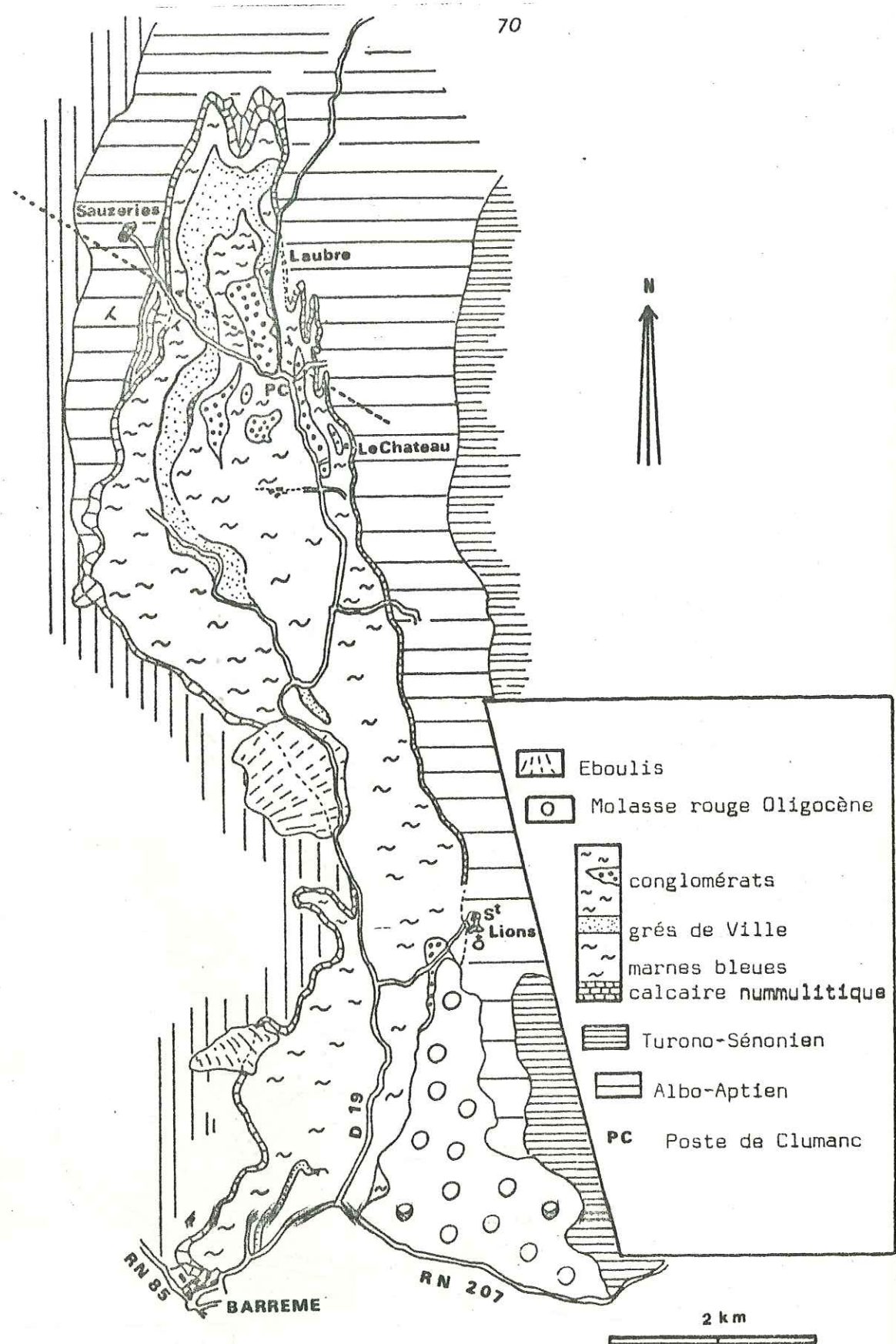


Figure 34

CARTE GEOLOGIQUE SCHEMATIQUE DU SYNCLINAL DE BARREME

d'après J. BODELLE (1971) simplifié

C'est dans le secteur du point coté 909 que les bois carbonisés sont les plus abondants. Dans cette même zone ont été observés les plus importants filons andésitiques qui témoignent du caractère autochtone des manifestations volcaniques. Les paléotempératures déterminées sur bois carbonisés sont d'environ 400 à 450°C. La Carte 4 montre que dans ce secteur l'épaisseur des produits volcaniques est maximale et que le "volcan de Saint-Antonin" était, vraisemblablement, centré sur le secteur des Petits Brins où s'observe, en outre, la plus grande quantité de filons andésitiques. Nous avons représenté, sur la Figure 33, une reconstitution des événements volcaniques qui sont intervenus durant l'Oligocène dans le bassin de sédimentation de Saint-Antonin.

## 2 b 1-6) Conclusions concernant le district de Saint-Antonin.

Le synclinal de Saint-Antonin correspond à la partie conservée d'un bassin sédimentaire de séries détritiques grossières. Ces niveaux, sédimentés pendant une phase de plissement, renferment des brèches volcaniques qui témoignent d'une intense activité volcanique durant l'Oligocène. Ce volcanisme, en rapport avec une intense activité tectonique, responsable de la mise à l'affleurement du socle de Saint-Antonin (J-D. Giraud, 1981), présente tous les caractères d'un volcanisme autochtone en domaine littoral à proximité immédiate de reliefs cristallins alimentant en blocs de grande taille les séries détritiques. Il s'apparente au volcanisme de même âge connu sur le littoral de la région niçoise.

## 2 b - 2) Le district du synclinal de Barrême (II.2) (Fig.34).

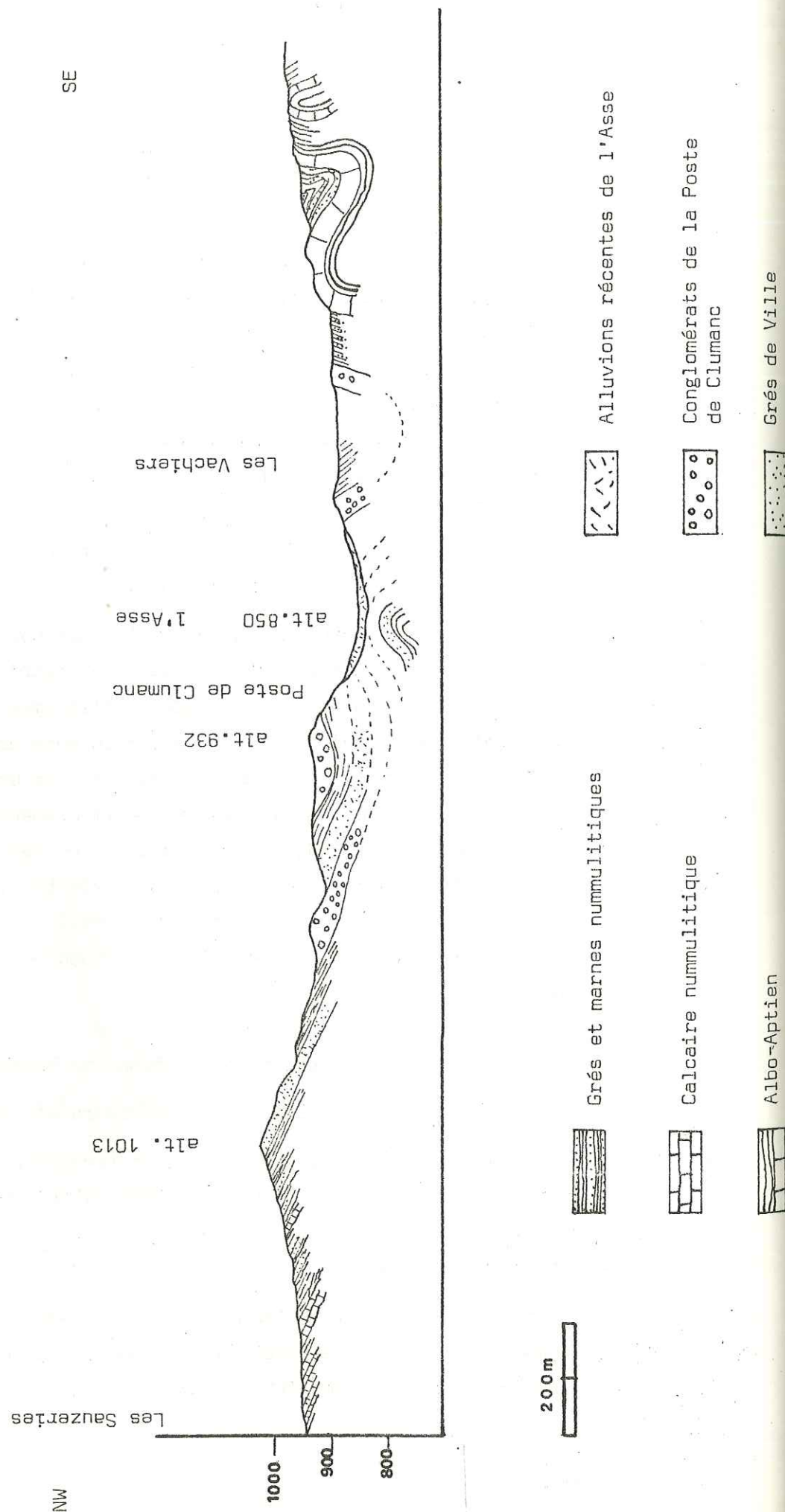
### 2 b 2-1) Travaux antérieurs et buts de l'étude.

En ce qui concerne les travaux antérieurs nous renverrons le lecteur à l'étude d'Y. Gubler (1958) sur les séries détritiques tertiaires des Alpes françaises du Sud et à la bibliographie très complète qui l'accompagne.

Cet auteur décrit les formations de type grauwaackevolcanique sédimentées en domaine marin et interstratifiées dans des dépôts de milieu marin peu profond. L'âge de ces formations volcaniques correspondrait au



Figure 35



Rupélien (Oligocène inférieur à moyen). Quelques années plus tard, S. Boeuf et al. (1961) décrivent les dépôts volcano-sédimentaires du Tertiaire de Clumanc (Fig. 34) qu'ils comparent à ceux du Champsaur ou de Thônes.

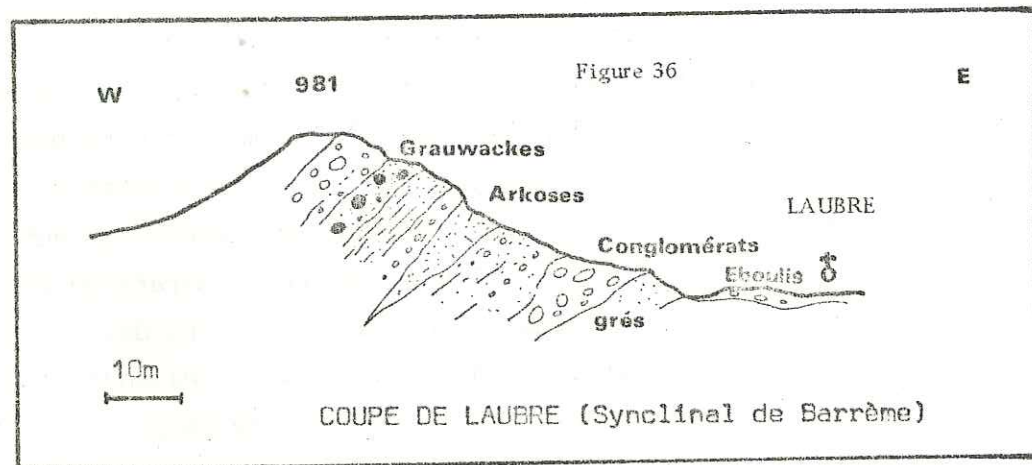
2 b 2-2) Contexte des manifestations volcaniques, stratigraphie des assises tertiaires du synclinal de Barrême (Fig. 35).

Le travail le plus récent concernant les formations tertiaires du synclinal de Barrême a été conduit par S. Touré (1981a & b) qui a étudié les roches cristallines et cristallophylliennes incluses dans les conglomérats polygéniques de la Poste de Clumanc. Ces roches montrent, du point de vue minéralogique et pétrologique, une analogie certaine avec celles décrites dans les conglomérats de Saint-Antonin. La série tertiaire débute par les calcaires nummulitiques qui surmontent les marno-calcaires du Crétacé moyen. La série se poursuit par des grès et marnes bleues (équivalent des marnes priaboniennes des autres districts) surmontées par les grès de Ville et les conglomérats de la poste de Clumanc qui représentent l'équivalent des formations détritiques antevolcaniques du synclinal de Saint-Antonin. Les niveaux de grauwaque andésitique marquent, dans les conglomérats de la poste de Clumanc, un événement volcanique contemporain de la sédimentation (Fig. 36).

REMARQUE : Comme nous le verrons dans le chapitre consacré à la pétrographie, les formations volcaniques interstratifiées dans les conglomérats de Barrême sont de véritables tufs volcaniques que l'on peut interpréter comme des retombées pyroclastiques dans le bassin de sédimentation oligocène de Barrême.

Les andésites que l'on trouve parfois en galets dans les formations conglomératiques sont identiques à celles décrites précédemment dans les secteurs plus méridionaux (Saint-Paul de Vence, Vence, Saint-Antonin) et qui montrent des caractères de roches très altérées où apparaissent en relief des plagioclases tabulaires noyés dans une matrice chloritisée et argilisée représentant vraisemblablement un ancien fond vitreux.





Ces formations volcaniques se sont déposées dans un bassin de sédimentation soumis à d'importantes déformations compressives comme en atteste la Figure 37 qui montre la discordance des conglomérats oligocènes sur une structure plissée d'axe NW - SE. Ces déformations compressives ont été bien décrites dans les secteurs de Barrême, Taulanne, Majastre (J. Baudoin et al. 1977).

Ces observations montrent que les synclinaux de Barrême et de Saint-Antonin ont connu une histoire comparable, à l'Oligocène. Les tufs andésitiques rencontrés dans le synclinal de Barrême marquent, du point de vue historique, un événement volcanique contemporain de la sédimentation oligocène et, semble-t-il, largement répandu dans les chaînes subalpines.

#### 2 b - 3) Le synclinal de Majastres (Fig.38).

Le synclinal de Majastres a été récemment étudié par P. Gigot (1974) et par M. Roux (1972). Les roches volcaniques andésitiques se trouvent à l'état remanié, sous forme de galets, dans des conglomérats miocènes, donc plus récents que ceux de Saint-Antonin et de Barrême. Associée aux andésites (qui ne présentent que peu d'intérêt car très altérées) existe une microdiorite quartzique à pâte felsitique en tous points identique aux estérellites du massif de l'Estérel (cf. Pétrographie). Plusieurs auteurs croyaient avoir découvert des estérellites dans les conglomérats oligocènes (M. Boucarut, 1969) mais il s'agissait, en fait, de granodiorites bleutées d'âge beaucoup plus ancien que les estérellites (H. Bellon, comm. orale 1978). La présence d'estérellite dans des conglomérats d'âge Miocène inférieur confirme la mise en place des microdiorites quartziques et dacites de l'Estérel à l'Oligocène.

#### 2c) La Province du Champ saur (P.III) (Carte 5).

##### 2 c - 1) Historique des travaux.

P. Bellair (1957) a mis en évidence l'existence d'un "volcanisme nummulitique" dans ce secteur des chaînes subalpines. S. Boeuf (1959) a confirmé l'existence de ces manifestations éruptives dans les grès du Champsaur et précisé qu'il s'agissait de microbrèches, de grauwackes et de tufs volcaniques.



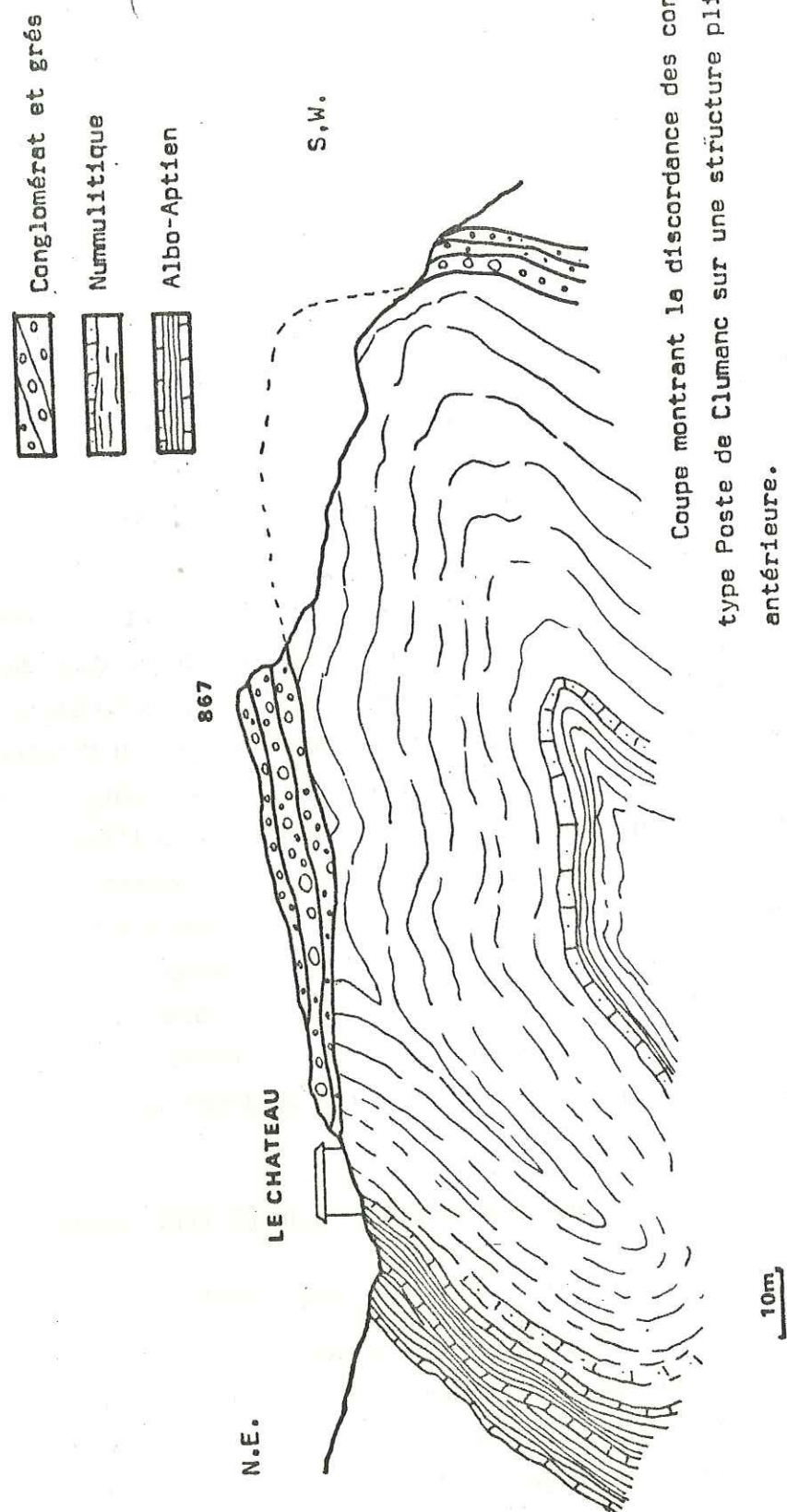
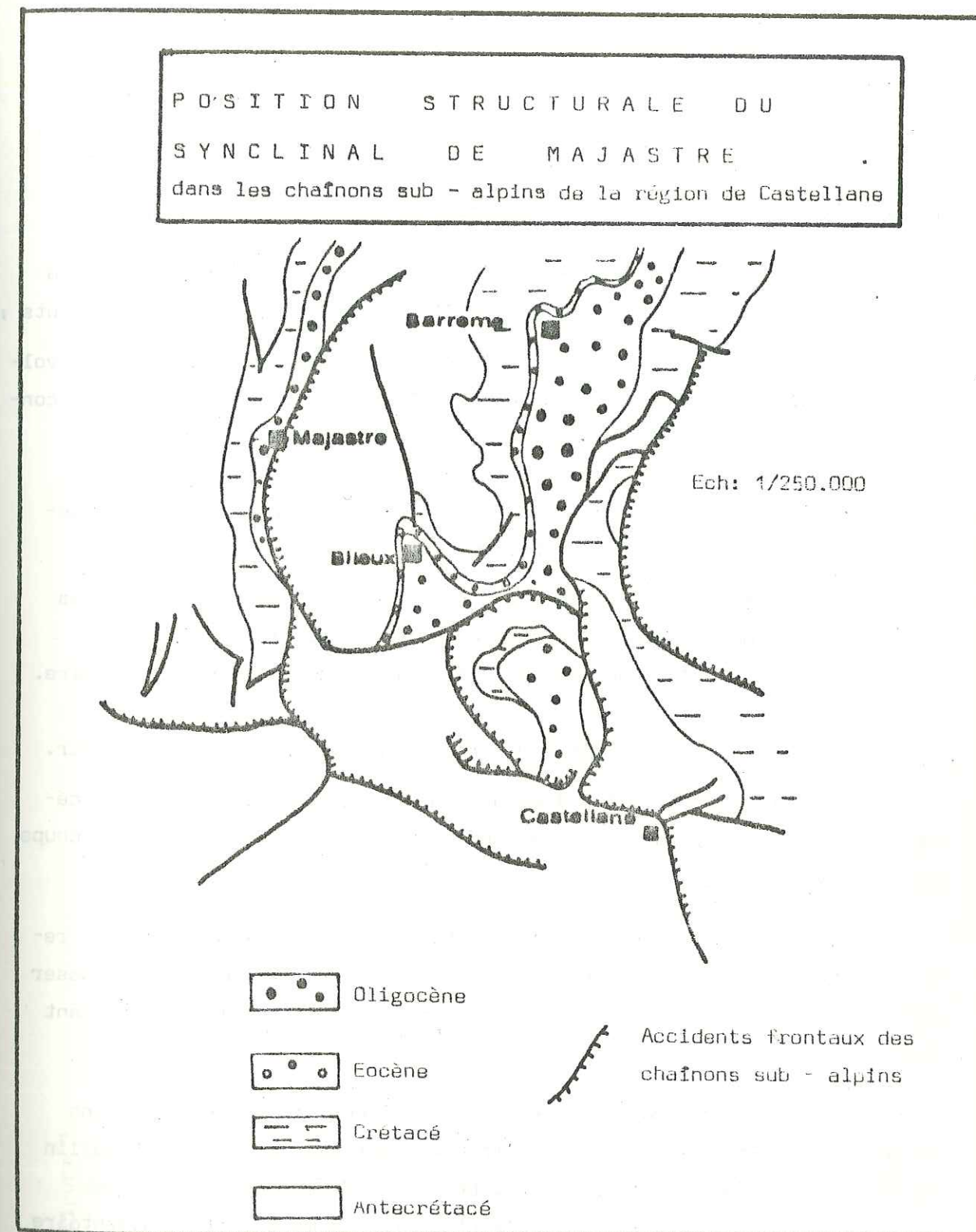


Figure 38





## 2 c - 2) Les problèmes posés par le volcanisme du Champsaur.

Les dangers de l'interprétation : P. Bellair et S. Boeuf ont rencontré, dans ce secteur complexe, les mêmes difficultés auxquelles s'étaient déjà heurtés les auteurs dans des secteurs plus septentrionaux (Taveyanne, Thônes). En effet, les niveaux détritiques riches en matériel volcanique sont très souvent polygéniques et les laves triasiques se retrouvent mélangées aux andésites tertiaires. Il convient donc :

- \* de rechercher les niveaux monogéniques (très rares) qui s'apparentent à des tufs ou à des mélanges produits éruptifs-sédiments ;
- \* d'étudier de manière approfondie la minéralogie des éléments volcaniques et de la comparer à celle des autres manifestations connues et datées de façon précise dans les autres provinces qui jalonnent l'arc alpin. Certaines erreurs semblent avoir été ainsi commises dans la dénomination de certaines roches (andésites à feldspath perthitique par exemple) ;
- \* d'écarter de l'interprétation les coulées volcano-détritiques type de Combe de Roranches dont il est difficile de prouver qu'il s'agisse de manifestations liées au volcanisme tertiaire.

## 2 c - 3) Stratigraphie des formations tertiaires du Champsaur.

La notice de la feuille au 1/50 000e géologique d'Orcières décrit la succession stratigraphique que l'on peut aussi suivre sur la coupe de la Figure 39.

- Les calcaires nummulitiques (Priabonien), épais de 5 à 50m, représentés par des calcaires bioclastiques qui peuvent, localement, passer à des conglomérats à galets de quartz et de roches cristallines (Versant Est du Chaillol).

- Les conglomérats rouges et marnes à cérithes : présents dans la coupe étudiée, ils remanient essentiellement des galets de cristallin et affleurent au Col de Riou Beyrou. Leur âge est mal connu, mais les données de terrain montrent qu'ils font partie du même cycle sédimentaire que les calcaires nummulitiques sus-jacents.



# CARTE 5

CARTE DE LOCALISATION DES GRES DU CHAMPSAUR RICHES EN MATERIEL VOLCANIQUE

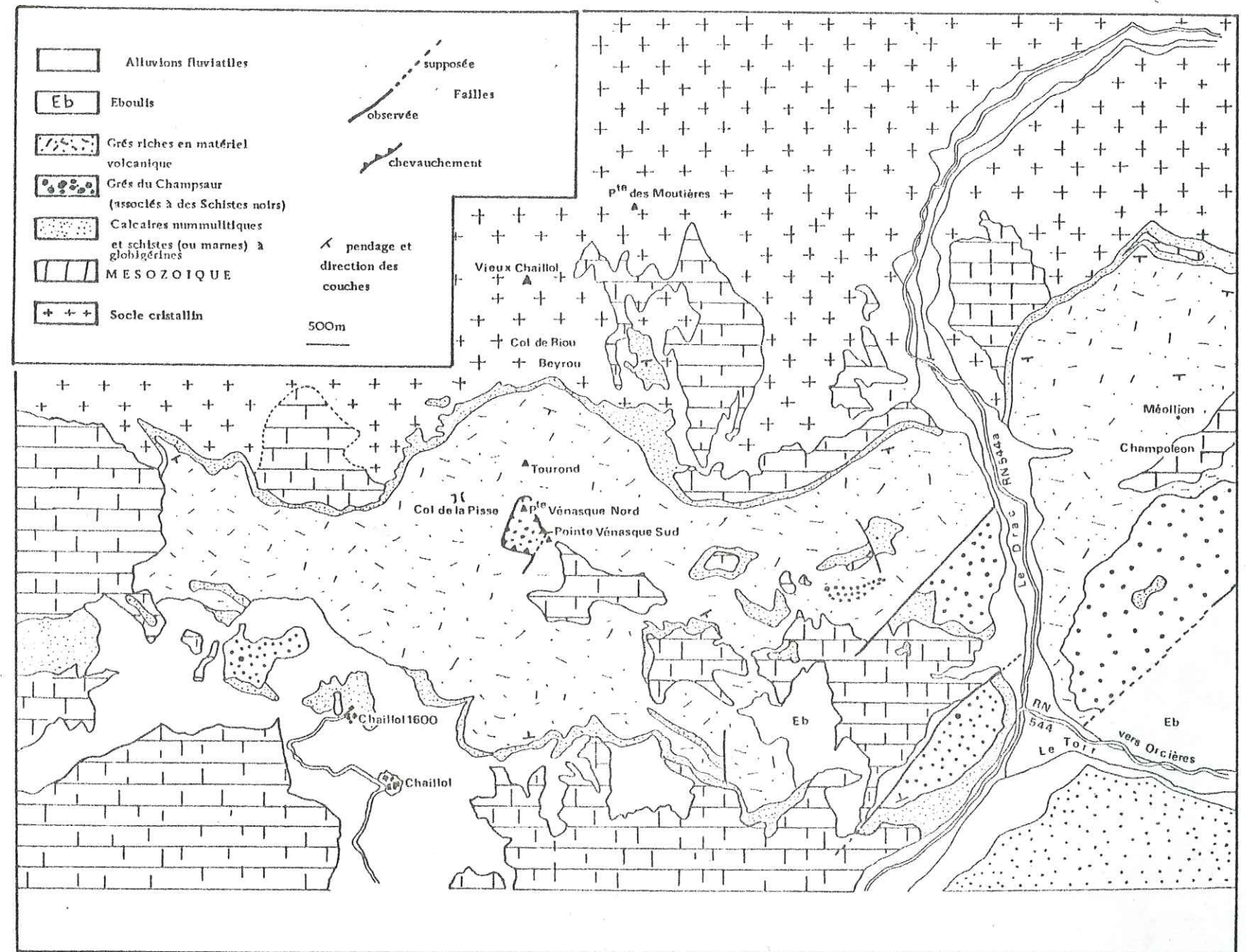
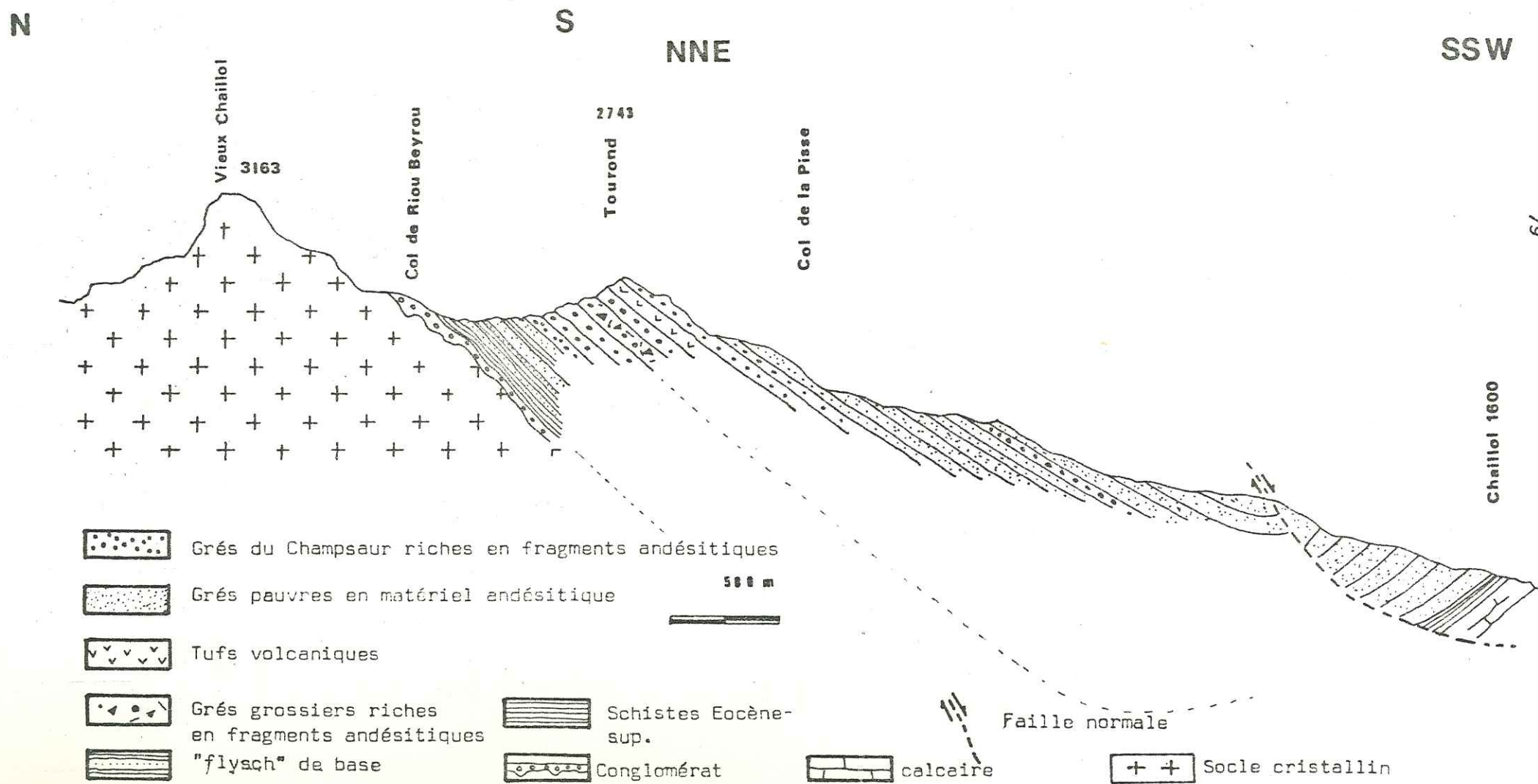




Figure 39 : Coupe géologique des formations gréseuses du Champsaur au  
Sud du Massif du Vieux Chaillol





- Les marnes (ou schistes) à globigérines (0 à 50cm) qui ont livré d'importantes faunes priaboniennes sont l'équivalent des marnes bleues décrites dans les provinces méridionales.

- Les grès du Champsaur : Il s'agit d'une série rythmique d'épaisseur variable (300 à 500m) exclusivement constituée de matériel détritique qui alternent fréquemment avec des formations volcaniques pyroclastiques ou volcano-détritiques. A leur sommet, les grès du Champsaur montrent, fréquemment, des faciès riches en matériel volcanique diabasique et andésitique (noté EG V sur la feuille d'Orcières). Comme nous le verrons dans le commentaire de la Figure 39, ces grès renferment des passées tuffacées et franchement andésitiques.

Les grès du Champsaur n'ont fourni que des microfaunes remaniées (Miliolides et nummulites). L'âge Eocène-Oligocène qui leur a été attribué résulte de leur superposition aux marnes priaboniennes et de leur analogie avec des faciès identiques décrits dans des régions méridionales (faciès grès d'Annot).

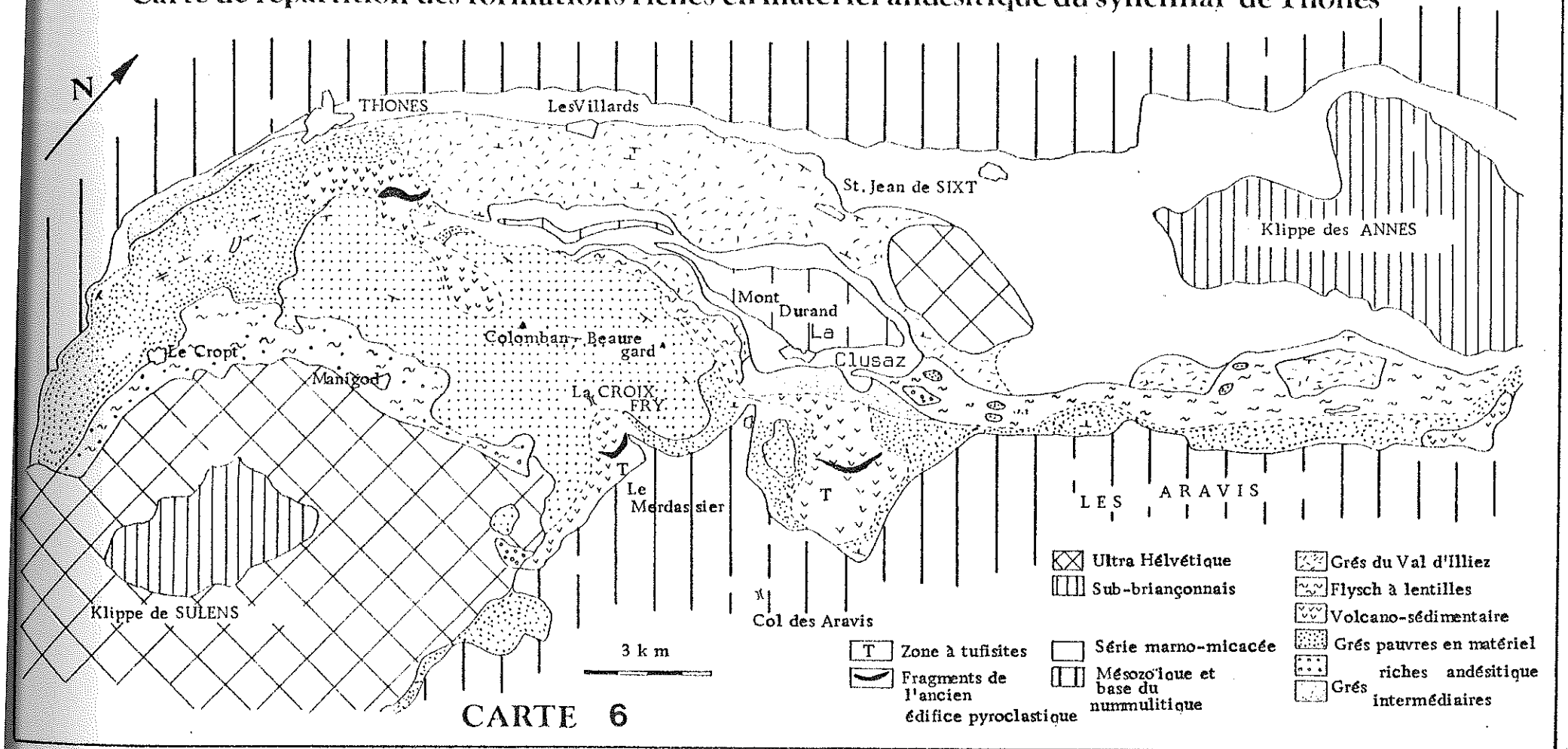
#### 2 c - 4) La coupe de Chaillol Vieux à Saint-Michel de Chaillol (voir localisation sur la Carte 5).

Cette coupe (Fig.39) est celle où P. Bellair avait décrit, pour la première fois, le volcanisme nummulitique. Elle montre, de façon très nette, la contemporanéité du volcanisme et de la sédimentation. On observe fréquemment, en particulier au niveau du massif du Tourond, des éléments andésitiques donnant l'impression d'être des galets (2 à 5cm) emballés par les grès. Il s'agit, en fait, de fragments de laves à contours irréguliers présentant l'aspect des éléments volcaniques rencontrés dans les pépérites (voir le chapitre Pétrographie). En certains secteurs (Pointe Sud Vénasque) quelques niveaux très grossiers de grès conglomératiques monogéniques à galets andésitiques peuvent être considérés comme des marqueurs des différentes phases éruptives.

La disposition des éléments volcaniques à contours irréguliers suggèrent une dynamique volcanique avec pulvérisation intense du magma (éruption de type Surtsey ou Capelinhos).



# Carte de répartition des formations riches en matériel andésitique du synclinal de Thônes





Les grès à faciès moucheté que l'on observe immédiatement au Sud-Est du Col de la Pisse sont traversés de petits filonnets brun-rougeâtres constitués d'une fine poussière cinéritique indurée renfermant quelques feldspaths automorphes et des minéraux fémiques caractéristiques des laves andésitiques. Il s'agit de tuffisites analogues à ceux décrits par J. Didier (1978) dans le synclinal de Thônes.

2 c - 5) Emplacement supposé du volcan du Champsaur.

Lorsque l'on observe la Carte 5 (établie suivant la feuille au 1/50 000e d'Orcières, on remarque que le secteur où les grès riches en matériel volcanique sont le mieux représentés est centré sur la zone Vieux Chaillol - Vénasque Sud Champoléon. Les tufs volcaniques, particulièrement bien représentés dans le massif du Tourond et de la Vénasque sont absents au Sud et à l'Est de cette zone. Ceci permet de supposer l'existence, à l'Oligocène, d'un centre éruptif dans le secteur du massif Tourond - Vénasque. La présence de cette bouche éruptive, qui a dû être recouverte par les produits pyroclastiques mélangés aux sédiments dans ce secteur est confirmée par la présence de tuffisites dans le secteur du Col de la Pisse.

REMARQUE : Il aurait été intéressant de pouvoir dresser une carte des iso-teneurs en matériel volcanique dans les grès du Champsaur, tout comme G. Sawatski l'avait fait pour les grès de Taveyanne du synclinal de Thônes. Ce travail reste à faire.

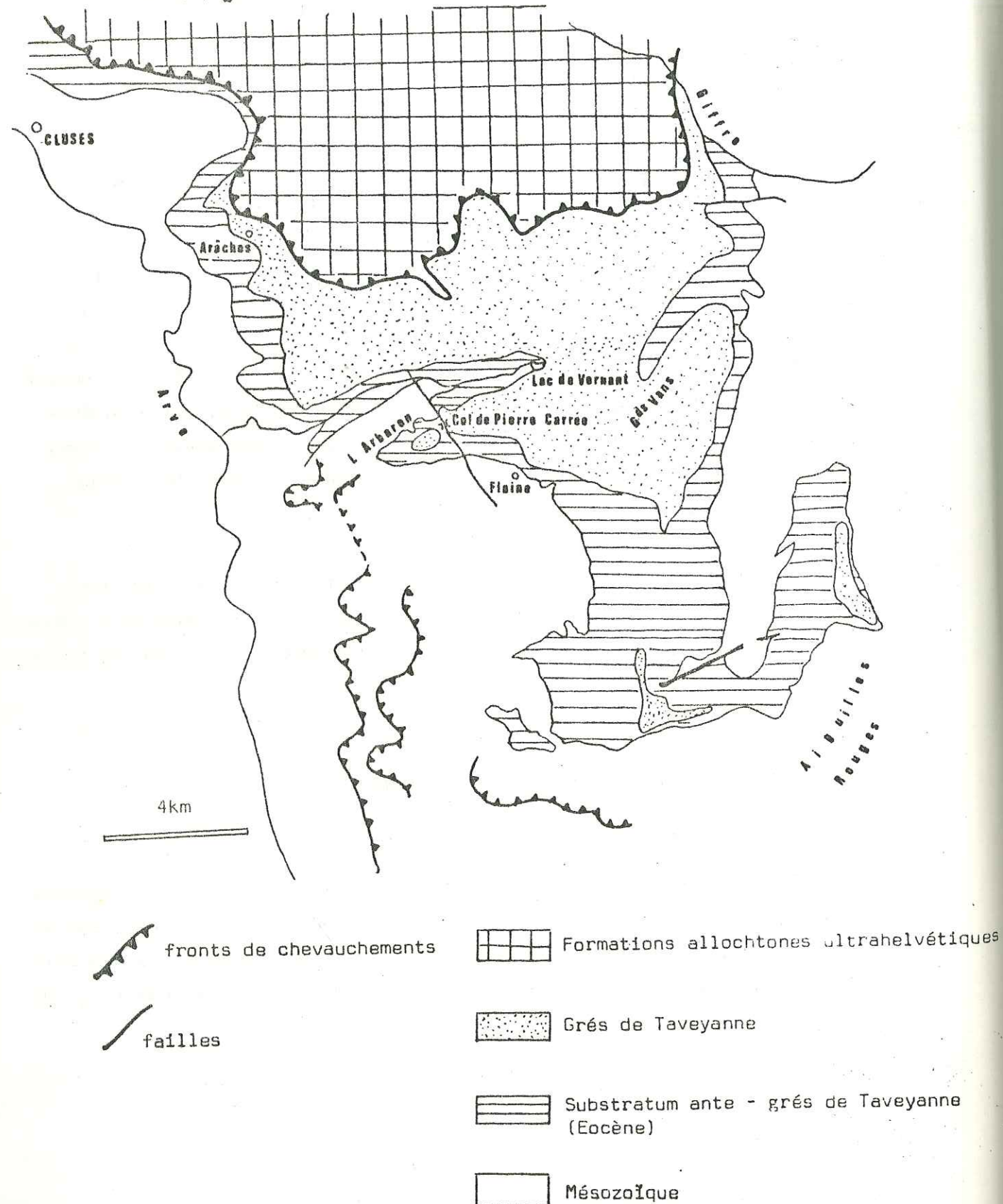
2d) La Province Helvético - Savoyarde (P.IV). (Fig.9 - p.18)

2 d - 1) Le district de Taveyanne.

Nos observations dans cette zone ont été peu nombreuses et nous retiendrons ici les travaux de l'école genevoise. Nous laisserons donc de côté ce district septentrional pour nous intéresser d'emblée à un secteur plus intéressant du point de vue volcanologique, le secteur compris entre Arve et Giffre.



Figure 40 : Contexte géologique des manifestations andésitiques de la région de Cluses ( in B. Pairis, 1975)



2 d - 2) Le district de Cluses Arâches (Fig;40).

L'accès aux points d'affleurements les plus intéressants est indiqué Figure 9 (p.18). Les grès, riches en matériel volcanique, affleurent principalement dans le massif de l'Arbaron et le massif des Grands Vans.

Du point de vue stratigraphique et structural nous retiendrons la contribution de B. Pairis (1975) sur le Tertiaire du Massif du Platé.

2 d 2-1) Stratigraphie des formations tertiaires et contexte du volcanisme.

Nous sommes parvenus aux mêmes conclusions que B. Pairis en ce qui concerne la succession stratigraphique des terrains tertiaires dans le secteur qui nous intéresse. En ce qui concerne l'interprétation des formations riches en matériel volcanique, nous apportons des faits nouveaux par rapport aux descriptions de J. Martini (1968).

Les formations tertiaires qui affleurent dans le district de Cluses Arâches peuvent être subdivisées en trois ensembles : un ensemble calcaire, un ensemble schisteux et un ensemble gréseux.

\* L'ensemble calcaire : les calcaires à nummulites.

B. Pairis (1975) distinguait au sein de cet ensemble la Formation Brune surmontant l'assise conglomératique, la Formation Grise et les calcaires blancs. Dans le secteur qui nous intéresse (base du massif de l'Arbaron) affleurent les calcaires blancs à nummulites. Ils sont surmontés par :

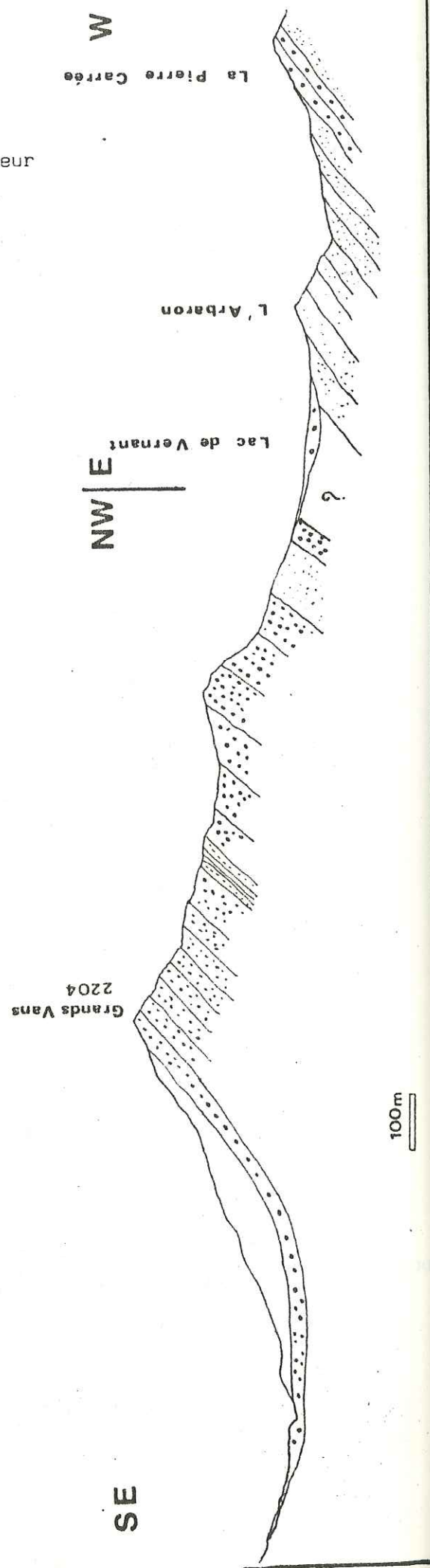
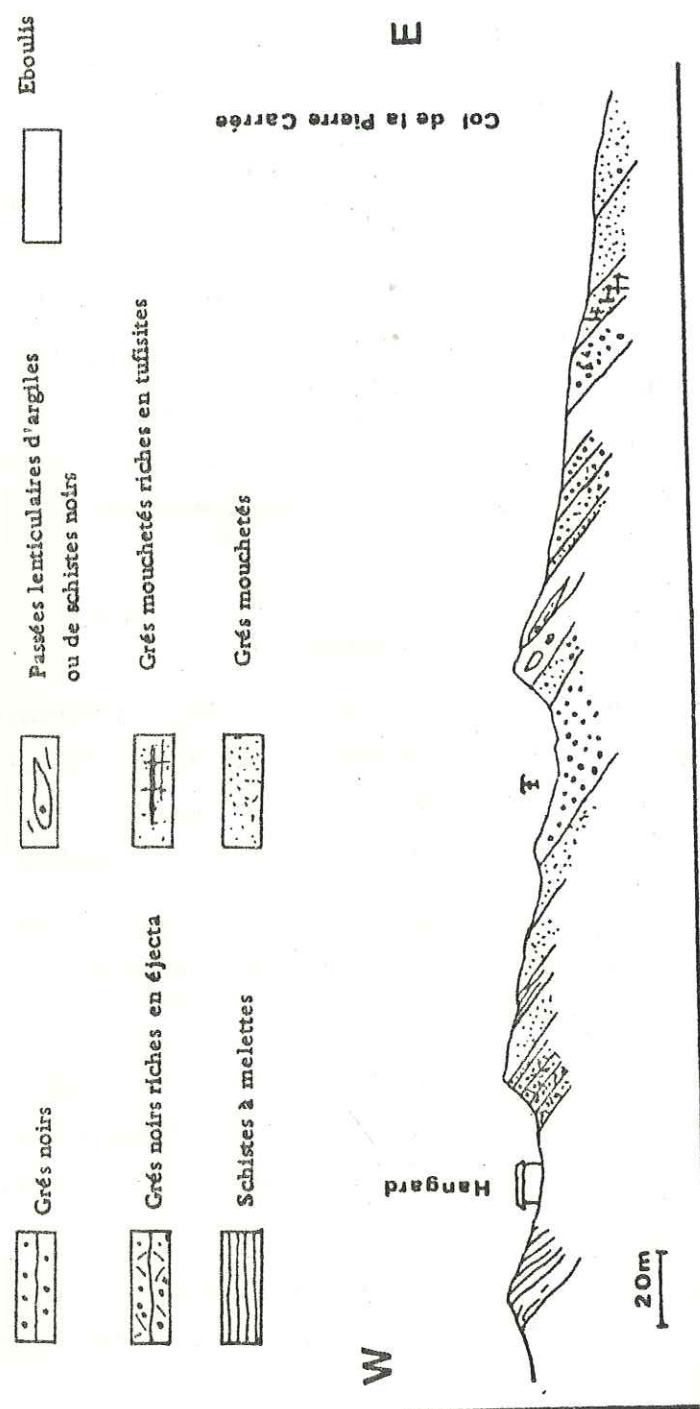
\* L'ensemble schisteux (schistes à globigérines et schistes grésio-micacés).

Les premiers correspondent à des calcschistes argileux, à patine jaune et faiblement détritiques, riches en foraminifères benthiques. La tendance détritique s'accroît vers le sommet de la formation (B. Pairis, 1975).

Dans les schistes grésio-micacés, les foraminifères se raréfient. Les débris végétaux apparaissent et on note, fréquemment, la présence d'écailles de Meletta.



Figure 41 : coupes géologiques dans le secteur  
de l'Arbaron et des Grands Vans



\* L'ensemble gréseux : les grès de Taveyannaz.

Cette formation détritique très épaisse (300 à 600m) formée de grès, de schistes et grauweekes volcaniques est constante dans l'ensemble de la province Helvético-Savoyarde. C'est dans cette formation que nous avons découvert (gisement de l'Arbaron) des ejecta andésitiques vitreux mélangés à du sédiment très fin (J-D. Giraud, 1981) qui prouvent la proximité du volcanisme par rapport au bassin sédimentaire.

REMARQUE : Cette succession stratigraphique présente de nombreuses analogies avec celle que nous décrirons plus loin dans le synclinal de Thônes.

2 d 2-2) Commentaire des coupes (Fig.41).

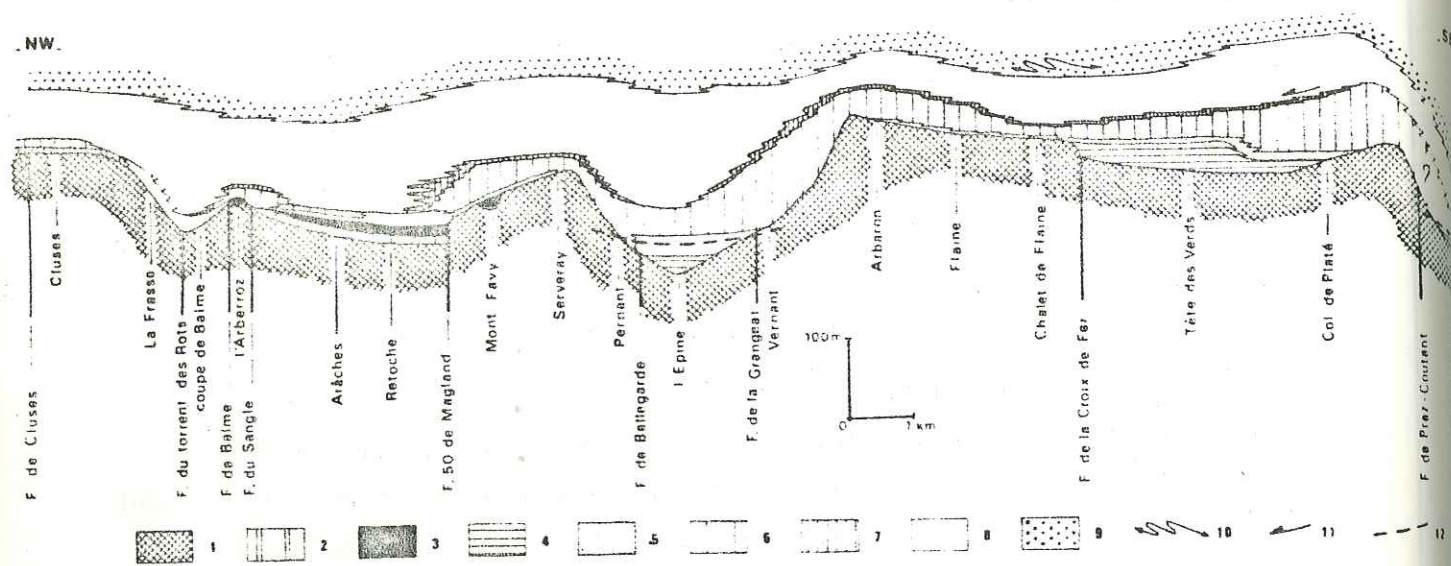
La première coupe a été levée à l'Ouest du Col de La Pierre Carrée au lieu-dit gisement de l'Arbaron (J. Martini, 1968). On accède à la coupe à partir d'un emplacement aménagé pour le stationnement des véhicules. De là, une route conduit à des entrepôts abandonnés.

La coupe débute par les schistes grésio-micacés à Meletta. Les premières formations gréseuses sus-jacentes, de teinte très sombre renferment de nombreux ejecta andésitiques qui se répartissent suivant des lits très réguliers correspondant aux explosions successives. Ce faciès, dénommé faciès aberrant par J. Martini (1968) sera décrit en détail dans le chapitre consacré à la pétrographie. Les séries de schistes et de grès noirs, riches en matériel andésitique, renferment des passées de psammites à végétaux incarbonés, marquent vraisemblablement le démantèlement de la végétation par les explosions.

Au sein de la série gréseuse s'intercalent quelques lentilles argileuses ou schisteuses. La coupe s'achève par des bancs de grès mouchetés dont certains renferment des tuffisites.

La seconde coupe constitue la suite, à l'Est, de la précédente. Elle se caractérise par l'abondance des grès noirs très riches en éléments volcaniques.





1. Crétacé supérieur 2. Lutétien marin 3. Couches lacustres 4. Formation brune 5. Formation grise 6. Calcaires blancs 7. Lamachelles à Discocyclines 8. Schistes à Globigérines 9. Base des Gres de Taveyannaz 10. Slumpings de Falacha 11. Glissements synsédimentaires 12. Isochrone (passage du Priabonien inférieur au Priabonien supérieur en milieu franchement marin)

Figure 42 : Reconstitutions paléogéographiques de la partie occidentale du massif de Platé au Tertiaire  
(in Pairis B. 1975)

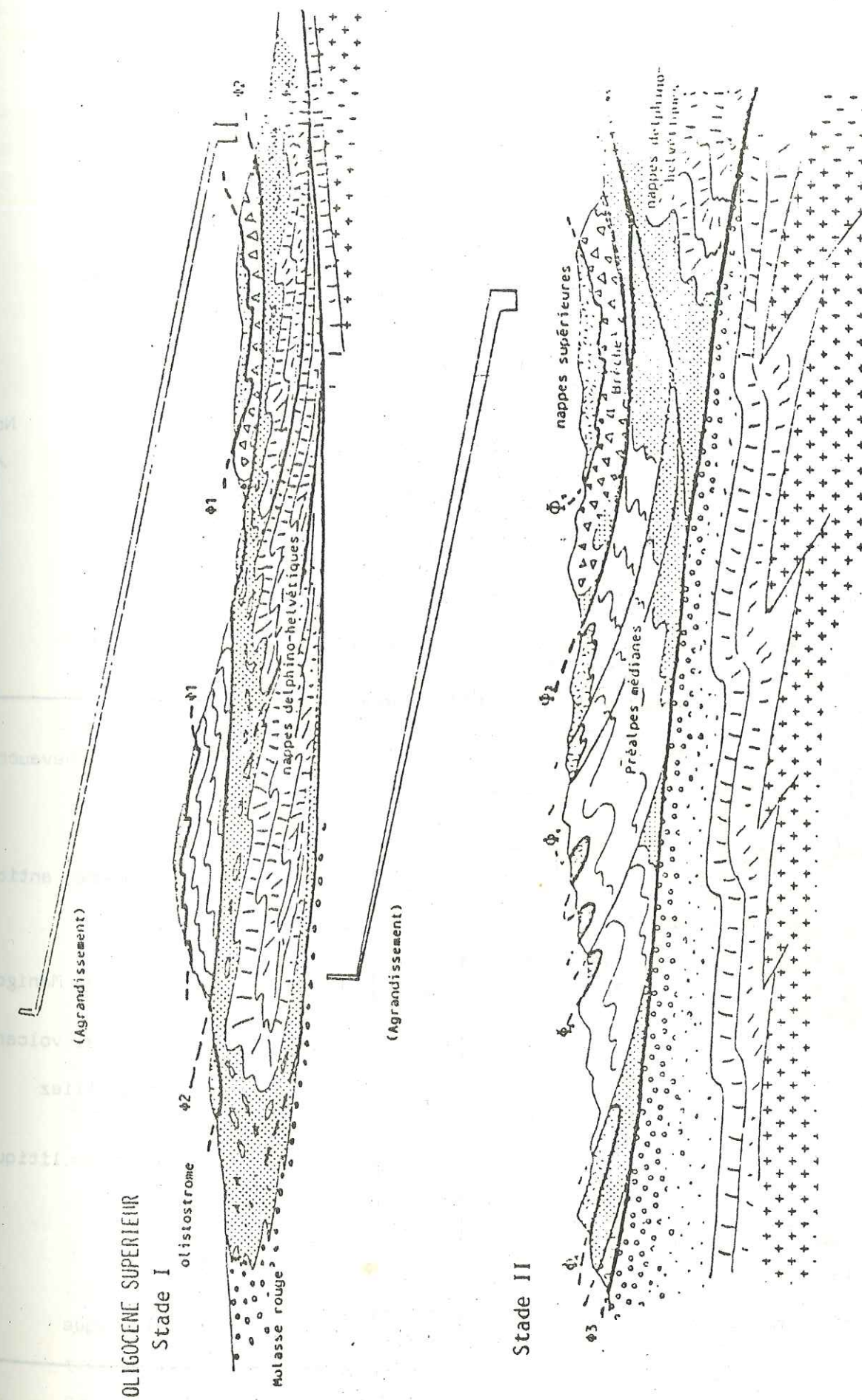


Fig. 43 : COUPES SCHEMATIQUES DE LA FIN DE LA TECTOGENESE TERTIAIRE.



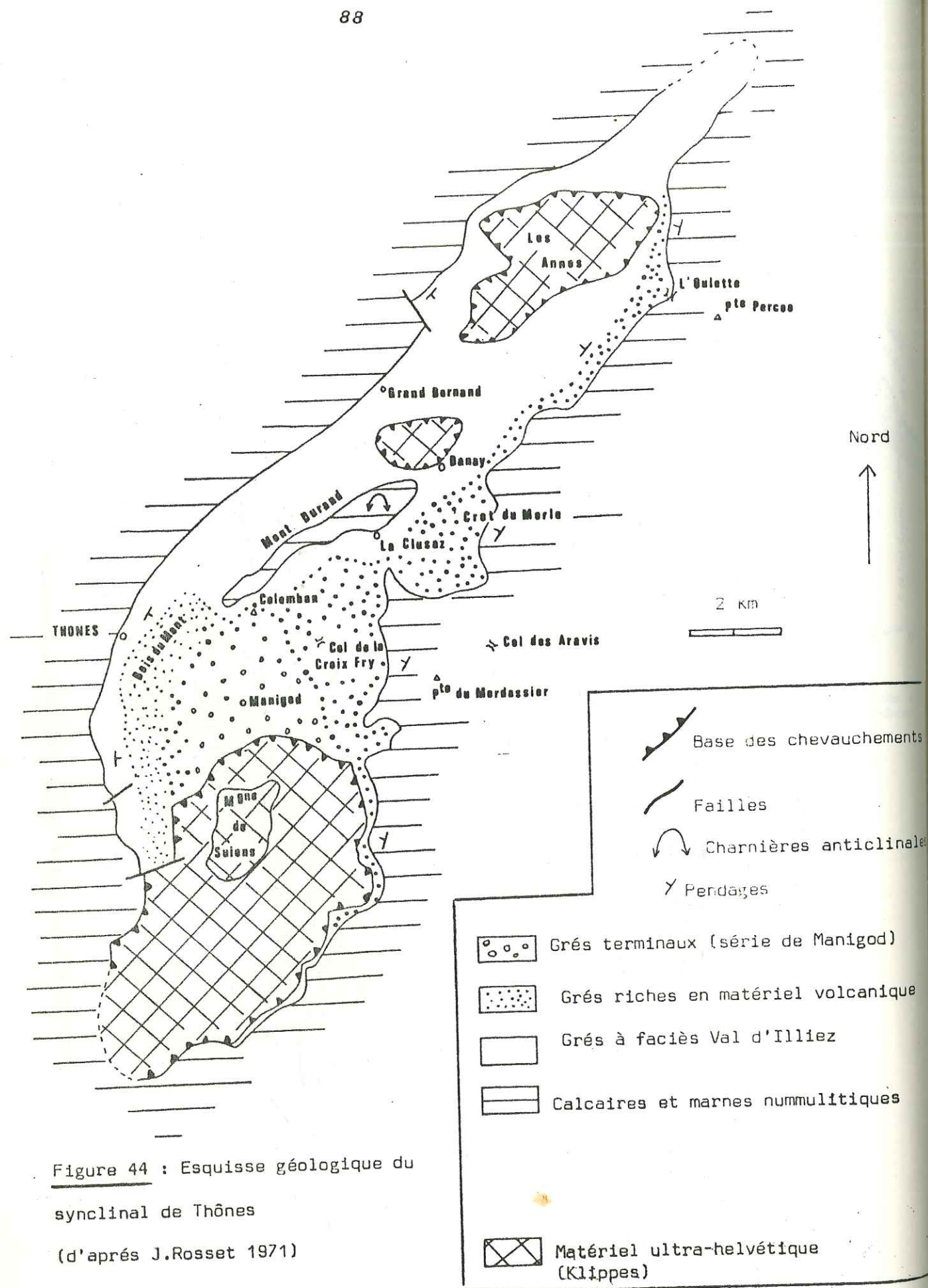


Figure 44 : Esquisse géologique du synclinal de Thônes

(d'après J. Rosset 1971)

## 2 d 2-3) Autochtonie du volcanisme et relations volcanisme - structure.

Le découverte d'ejecta volcaniques vitreux dans le gisement de l'Arbaron (J-D. Giraud et al. 1981) mélangés à du sédiment montre, d'une part, la contemporanéité du volcanisme et de la sédimentation, d'autre part, la proximité des émissaires éruptifs. Nous insisterons sur cette formation dans le chapitre consacré à l'étude pétrographique.

Les études paléogéographiques de B. Pairis font apparaître au Priabonien (c'est-à-dire avant le dépôt des grès de Taveyanne) l'existence d'une topographie tourmentée attestée par les différences d'épaisseur enregistrées dans les schistes à globigérines et marnes à Meletta.

Le secteur de l'Arbaron correspondait, au moment du dépôt des grès de Taveyanne, à un haut-fond séparant deux zones dépressionnaires (le Chenal de l'Epine et celui de Challenles). Nous avons reporté sur la Figure 42 le schéma interprétatif des reconstitutions paléogéographiques de B. Pairis.

Nous interprétons le haut-fond de l'Arbaron comme un ancien massif volcanique sous-marin ayant alimenté les formations gréseuses de Taveyanne en ejecta et autres matériaux volcaniques.

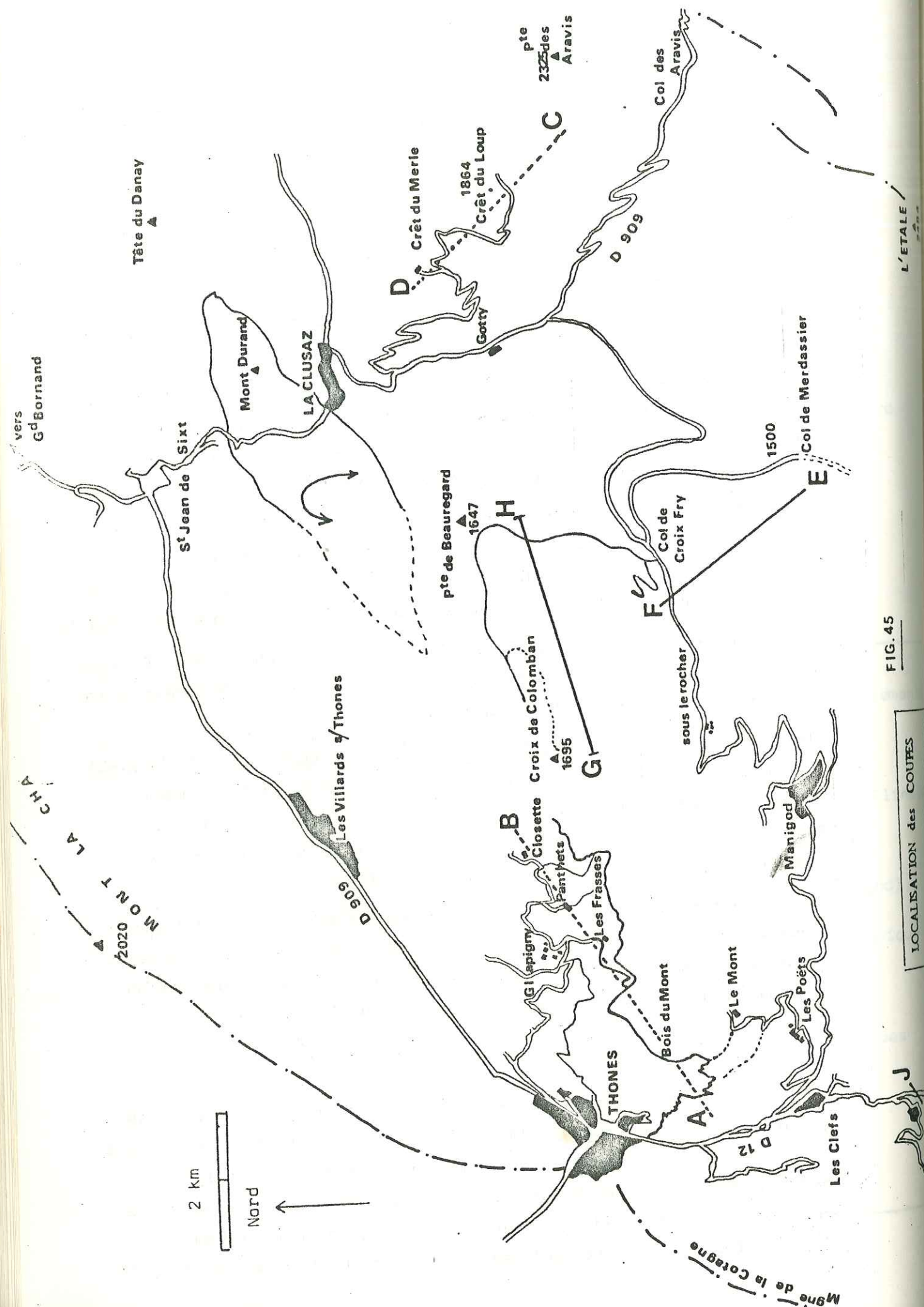
Du point de vue structural, les travaux de B. de Lepinay (1981) (Fig.43) montrent que la région envisagée était soumise, à la limite Priabonien-Oligocène, à une tectonique tangentielle responsable de la mise en place des unités subbriançonnaises, briançonnaises et prépiémontaises sur le domaine delphino-helvétique à grès de Taveyanne.

Nous retrouvons, dans ce secteur, un dispositif analogue à celui décrit dans les chaînes subalpines méridionales, à savoir : la mise en place d'un volcanisme, en position externe, dans un contexte de compression consécutif à la poussée des unités internes sur l'avant-pays.

## 2 d - 3) Le district de Thônes (Fig.44 & Carte 5).

La carte synthétique de la Figure 44 regroupe les données de J. Rosset (1971), G. Sawatski (1975) et nos propres observations. L'activité volcanique tertiaire se manifeste par la présence, dans la série sédimentaire détritique des grès de Taveyanne, de niveaux riches en matériel volcanique andésitique (minéraux isolés, fragments vitreux ou galets). Ces fragments volcaniques qui se rattachent au magmatisme paléo-





tériel volcanique andésitique (minéraux isolés, fragments vitreux ou galets). Ces fragments volcaniques qui se rattachent au magmatisme paléogène qui nous intéresse sont, dans ce secteur, beaucoup plus faciles à différencier des éléments diabasiques triasiques qui posaient, dans la province du Champsaur, certains problèmes d'identification vis-à-vis des andésites.

Bien qu'étudié par de nombreux auteurs, le synclinal de Thônes a récemment livré d'intéressantes observations effectuées sur des chantiers récents. Nous présentons un certain nombre de coupes levées dans le synclinal et dont la localisation a été figurée sur la carte Figure 45.

2 d 3-1) Stratigraphie des formations tertiaires du synclinal de Thônes.

Les calcaires à nummulites de l'Eocène moyen constituent l'ossature du synclinal. Ils sont surmontés par des marnes et des schistes à écailles de Meletta que l'on peut, en première approximation, considérer comme l'équivalent des marnes priaboniennes décrites, plus au Sud (province sub-alpine méridionale) dans les formations de l'Eocène supérieur. Viennent ensuite les grès de Taveyanne dont l'âge, bien qu'encore controversé, est compris entre l'Eocène supérieur et l'Oligocène moyen. Les auteurs opposent les grès riches en matériel volcanique andésitique (Grès de Taveyanne typiques) et les grès pauvres en matériel volcanique (GPV).

Nous avons présenté quelques coupes sous forme de logs synthétiques (Fig. 46). Comme le montrent ces logs, les grès de Taveyenne sont surmontés d'une série de type flysch à alternances schisto-gréseuses analogues à celles que l'on trouve dans la série de base.

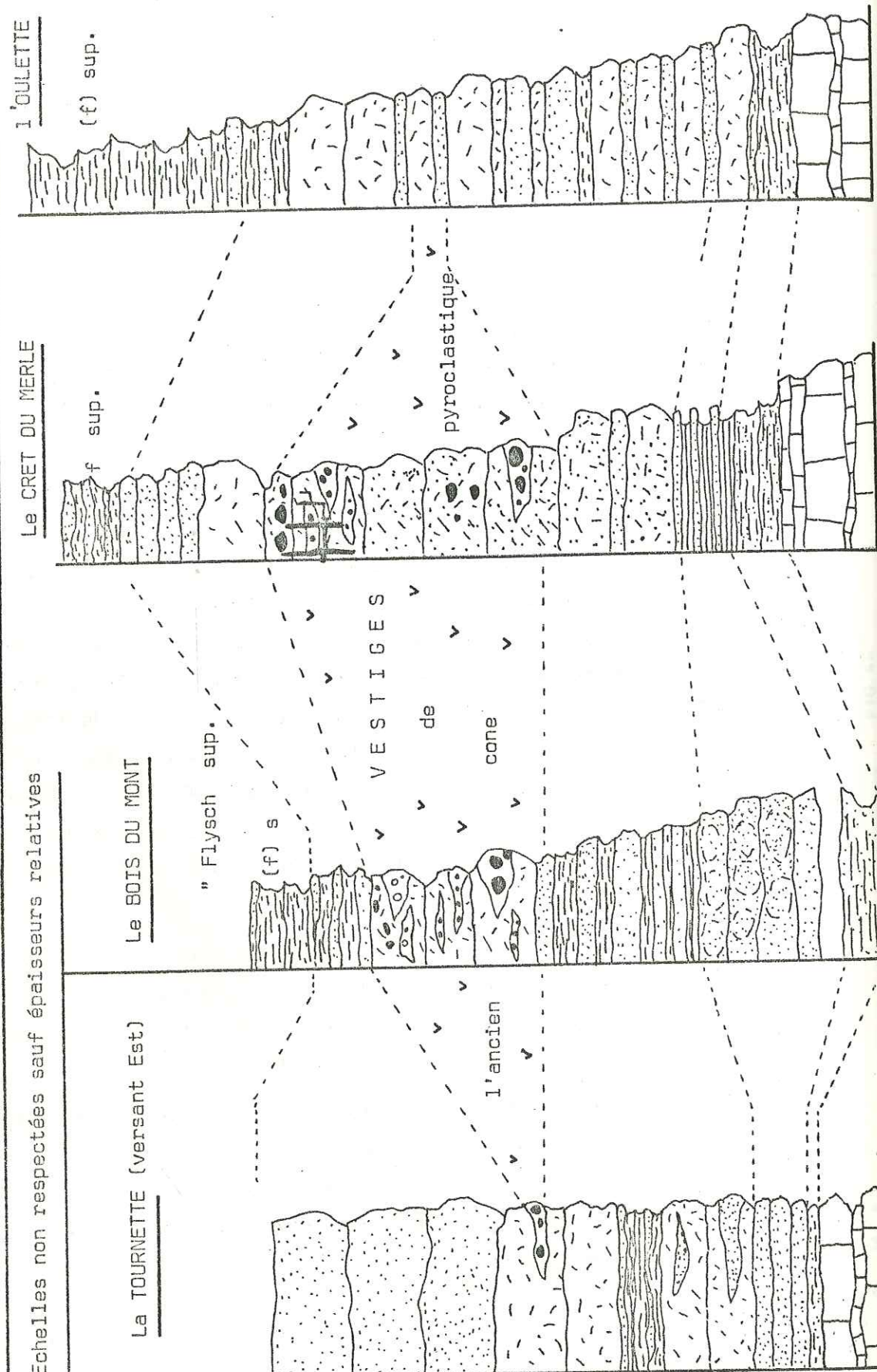
Une série gréseuse particulière, les grès du Val d'Illiez, repose sur la partie sommitale des grès de Taveyanne (Bois de la Duce) ou sur la partie inférieure de ces grès, bien que le contact soit difficile à préciser dans ce cas (Saint Jean de Sixt). Ils débutent par des grès à passées conglomératiques polygéniques (diabases, andésites, radiolites, granites, etc.).



Figure 46

Logs stratigraphiques des formations détritiques et volcanodétritiques du synclinal de Thones.

Echelles non respectées sauf épaisseurs relatives



Légende de la figure 46

- T Traces de matière organique ou bois flottés
- (f) Séquences à alternances argiles, schistes, psammites type "Flyschr"
- (T) Grés mouchetés, riche en matériel andésitique et recoupé par des tuffisites
- Grés moucheté riche en éjecta volcaniques (andésites)
- Grés mouchetés
- Grés noirs (trés riches en matériel andésitique) (altération en boules)
- "Flyschr marno micacé inférieur" et schistes à mélettes
- Calcaire nummulitique



REMARQUE : Comme dans le cas de la Province subalpine méridionale, le volcanisme se manifeste dans un contexte détritique se poursuit depuis l'Eocène supérieur jusqu'à l'Oligocène moyen supérieur. Nous confirmerons plus loin les analogies qui existent entre le synclinal de Thônes et celui de Saint-Antonin (Province sub-alpine méridionale). Nous avons représenté, sous forme de quelques logs synthétiques, les principales successions stratigraphiques observées dans le synclinal de Thônes (Fig.46).

2 d 3-2) Les observations de terrain favorables à l'hypothèse d'un volcanisme autochtone contemporain de la sédimentation des grès.

2 d 3-2-1) Le secteur du Mont (Fig.45 Coupe AB).

Le massif du Mont est situé au Sud-Est de la ville de Thônes. Son aménagement récent en parcours pédestre a permis de découvrir des affleurements dont nos prédécesseurs n'avaient pu bénéficier. Nous décrirons tout d'abord la coupe que l'on peut dresser sur la piste forestière de Bois du Mont. Cette piste s'emprunte à partir de la route qui conduit de l'Ecole de Glapigny au hameau des Molliettes. La coupe débute au hameau des Frasses et, à l'exception de quelques zones couvertes très réduites est continue jusqu'à Thônes où elle s'achève au niveau du lieu-dit Chantegrillet.

La coupe figurée AB sur la carte de localisation (Fig.45) montre la surabondance des grès riches en matériel volcanique (grès noirs) (Fig.44). Les comptages statistiques effectués à proximité de cette coupe par G. Sawatski (1975) montrent des teneurs pouvant atteindre 80% de matériel volcanique. La roche la plus intéressante (et qui n'avait pas encore été découverte à notre connaissance dans le synclinal de Thônes) affleure entre les Frasses et le Vallon du Corbeau (Fig.47 & 48). Il s'agit d'un tuf volcanique prenant localement un faciès de brèche. Cette formation grossière ravine les grès sous-jacents et elle se caractérise par l'abondance de calcite (cf. chapitre Pétrographie). Souvent associés à ces pyroclastites, on trouve des niveaux riches en végétaux carbonisés sur lesquels ont été évaluées des paléotempératures de combustion (environ 300°C). Cette coupe montre de façon démonstrative l'association constante des projections volcaniques avec les sédiments gréseux.

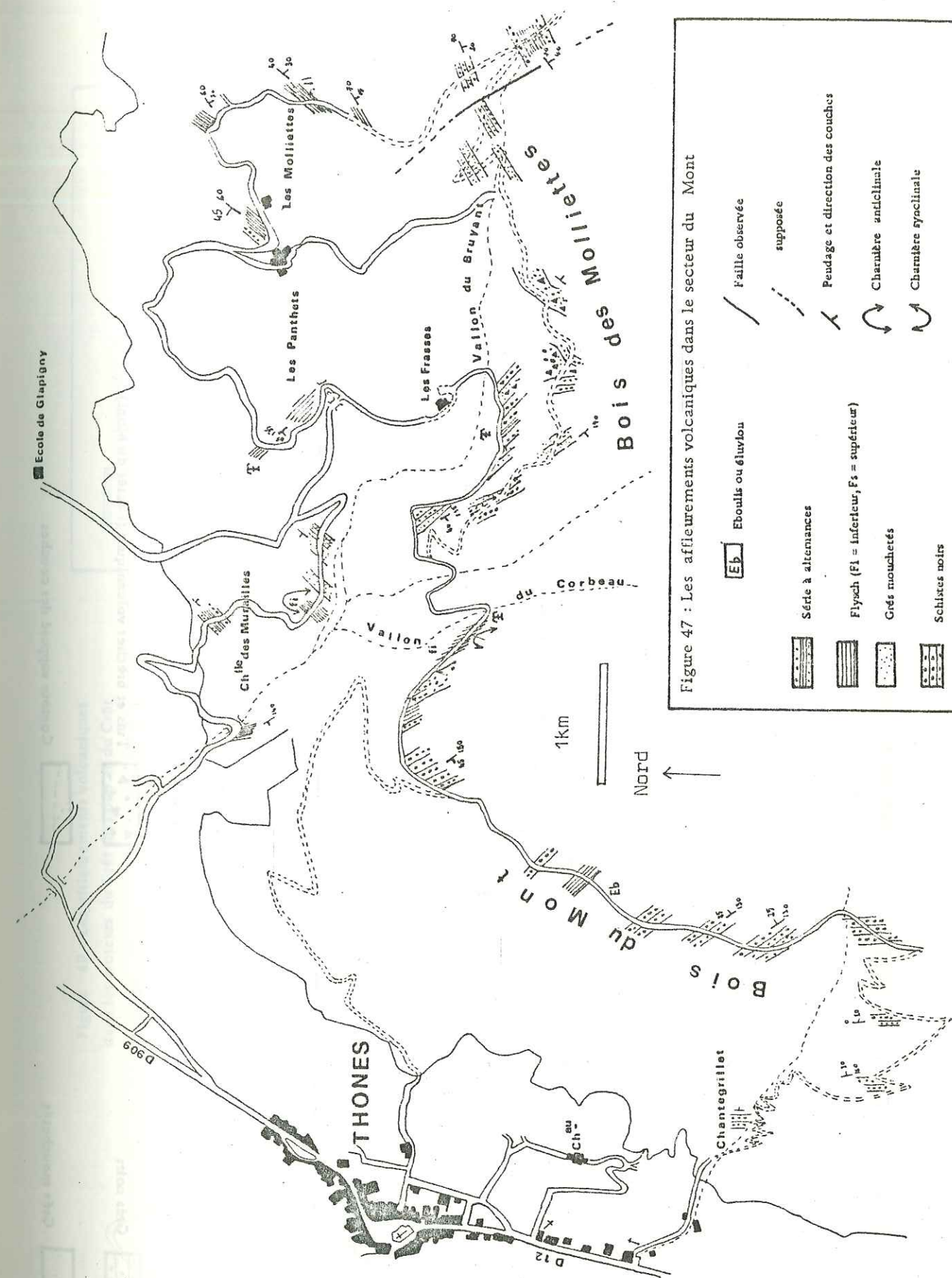


Figure 47 : Les affleurements volcaniques dans le secteur du Mont



Figure 48 : Coupe A-B dans le synclinal de Thônes

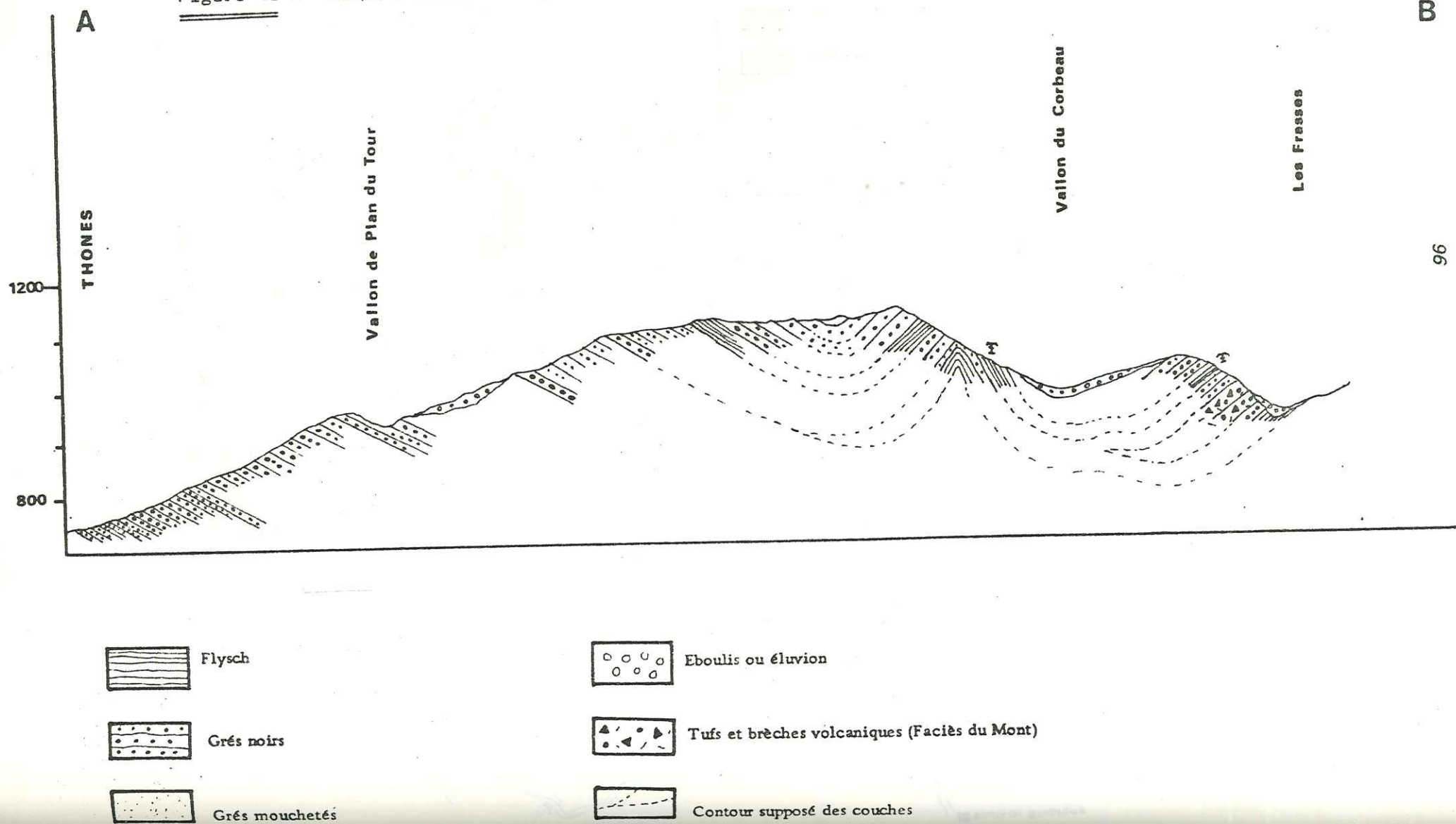
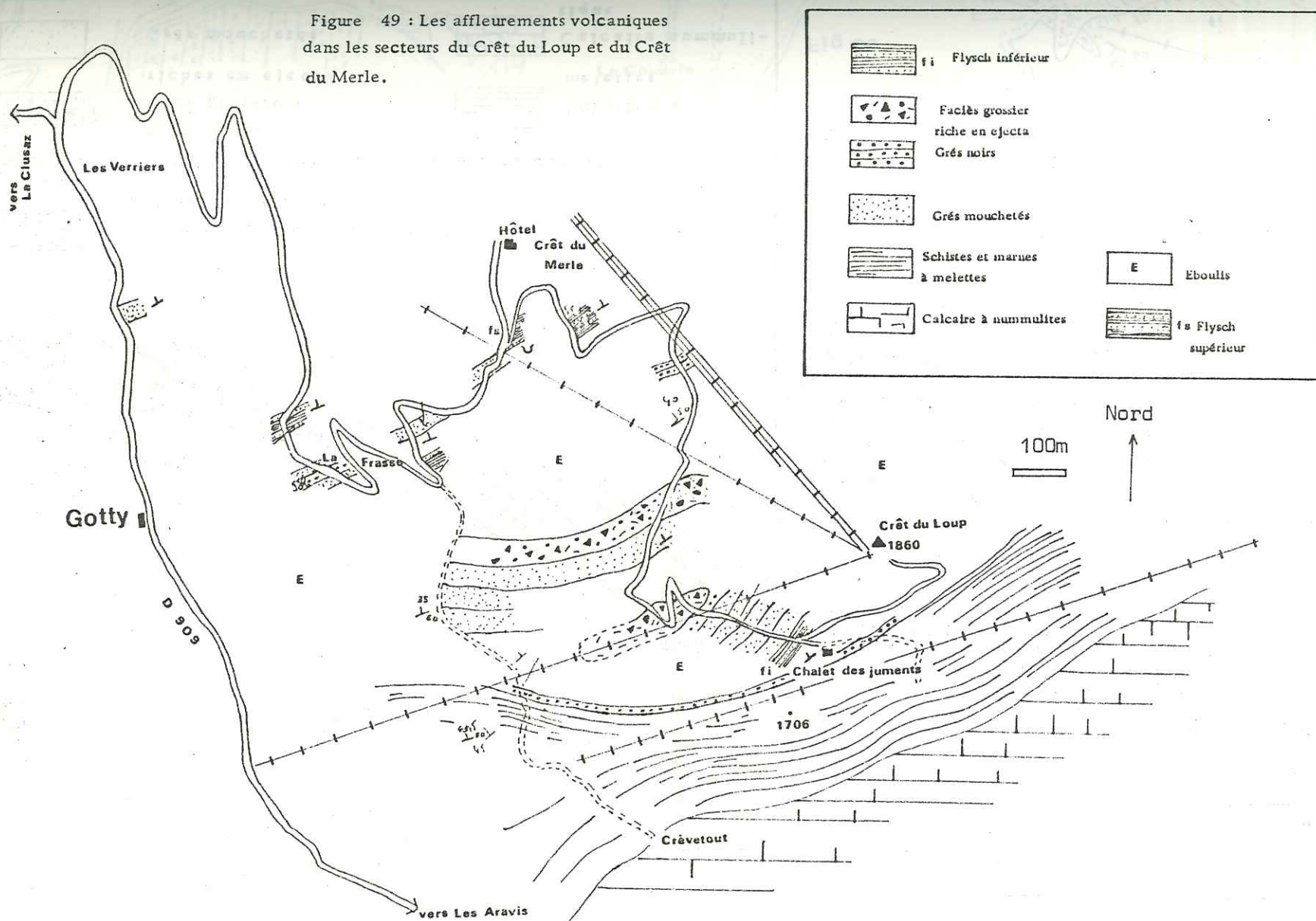
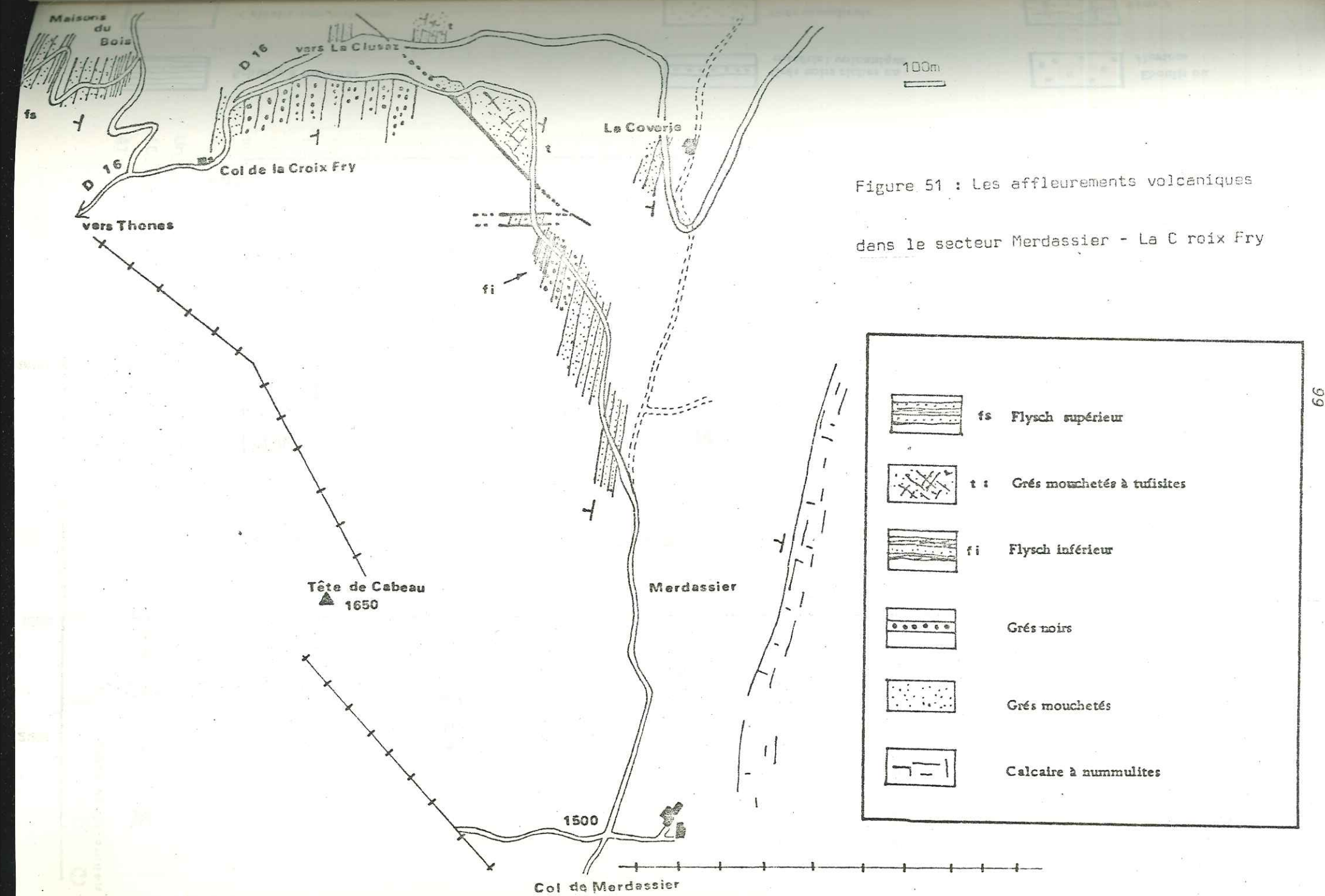
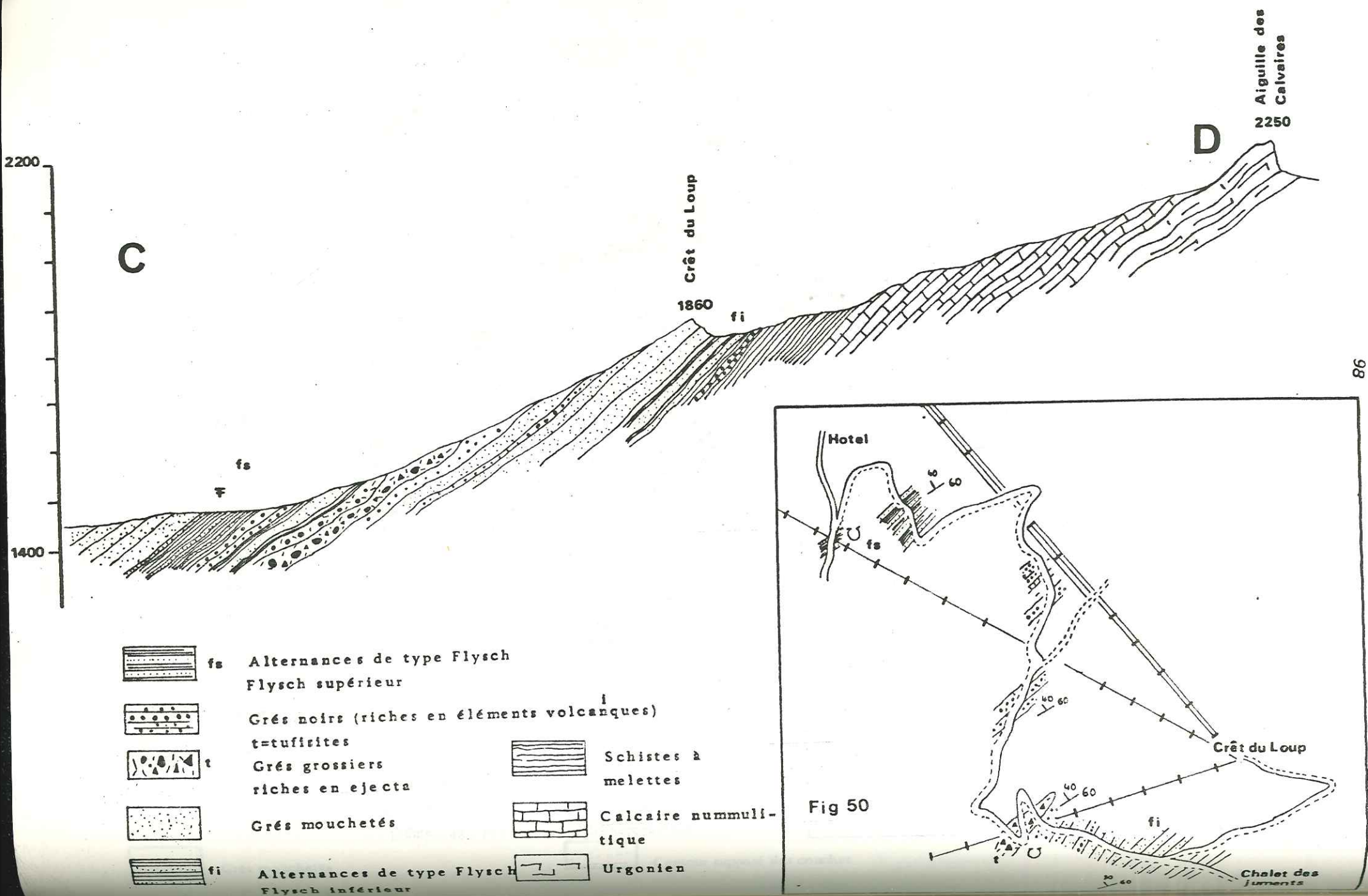


Figure 49 : Les affleurements volcaniques dans les secteurs du Crêt du Loup et du Crêt du Merle.









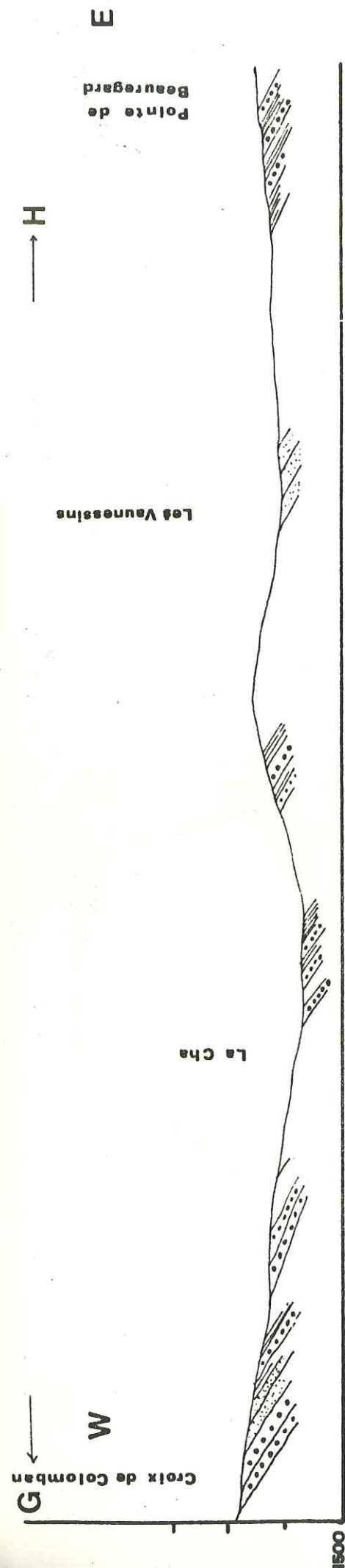
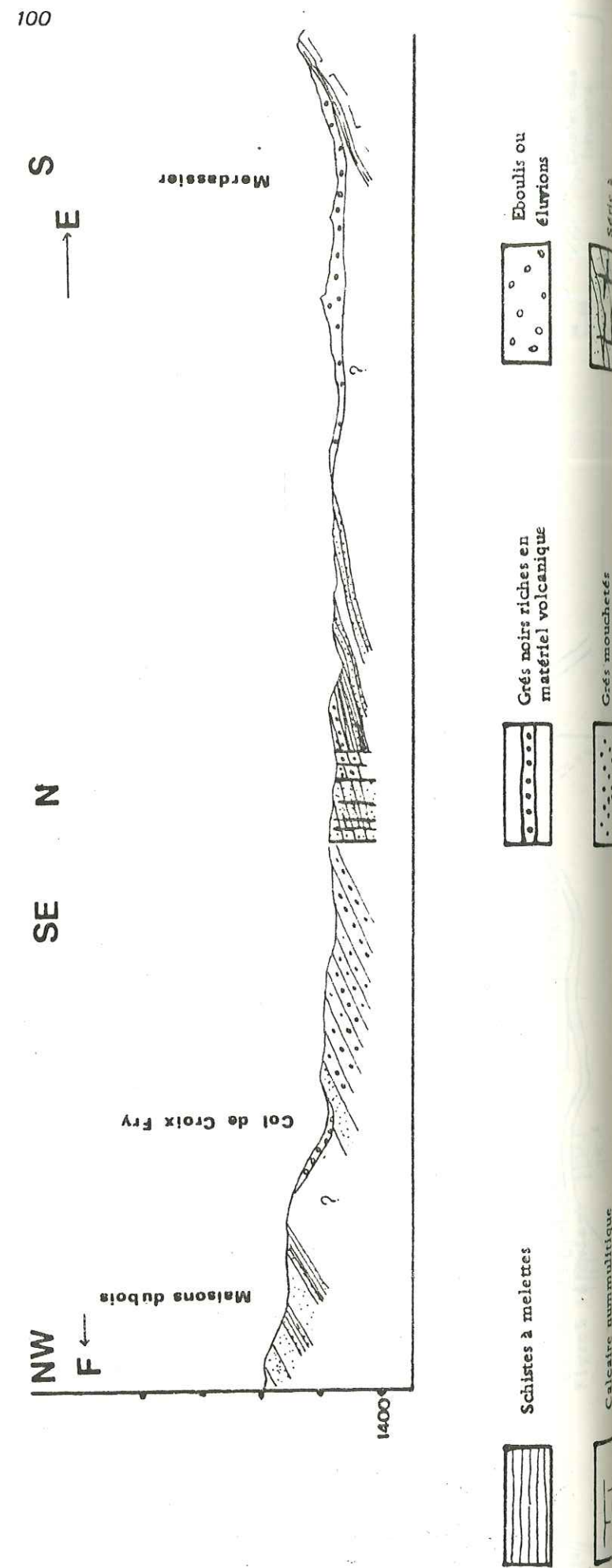


Figure 52: Coupes géologiques EF et GH dans le synclinal de Thônes



2 d 3-2-2) Le secteur de Crêt du Loup.

(Fig.49 & 50) (Coupe D).

Le massif de Crêt du Loup est situé à l'Est de la ville de La Clusaz (Fig.41) et nous y avons levé une coupe (Fig.46) dans laquelle se retrouvent des niveaux analogues à ceux de la route du Mont. le faciès grossier, assimilable à des tufs et brèches volcaniques, se retrouve sur le versant NW de la butte du Crêt du Loup. On y trouve, en outre, des bancs riches en galets andésitiques et en projections (grès grossiers riches en ejecta). Cette coupe a livré, en outre, un affleurement intéressant situé à l'aplomb de la remontée mécanique qui descend du Crêt du Loup vers la route des Aravis (direction WSW-ENE). Sur la piste se trouve une petite carrière figurée sur le cartouche de la Figure 50. Les grès mouchetés qui alternent avec des grès grossiers riches en ejecta andésitiques sont recoupés par des filons de tuffisites analogues à ceux qui avaient été décrits par J. Didier et col. (1978) dans le secteur du Merdassier que nous décrirons plus loin. Une seconde carrière, celle-ci située 50m environ après l'embranchement entre la piste du Crêt du Loup et la route de l'Hôtel (Fig.49) renferme en abondance des végétaux incarbonés sur lesquels les mesures de paléotempératures de carbonisation ont donné des résultats comparables à ceux que nous avons indiqués précédemment. Comme la précédente, cette coupe montre l'association constante des matériaux volcaniques et des sédiments.

2 d 3-2-3) Le secteur du Merdassier.

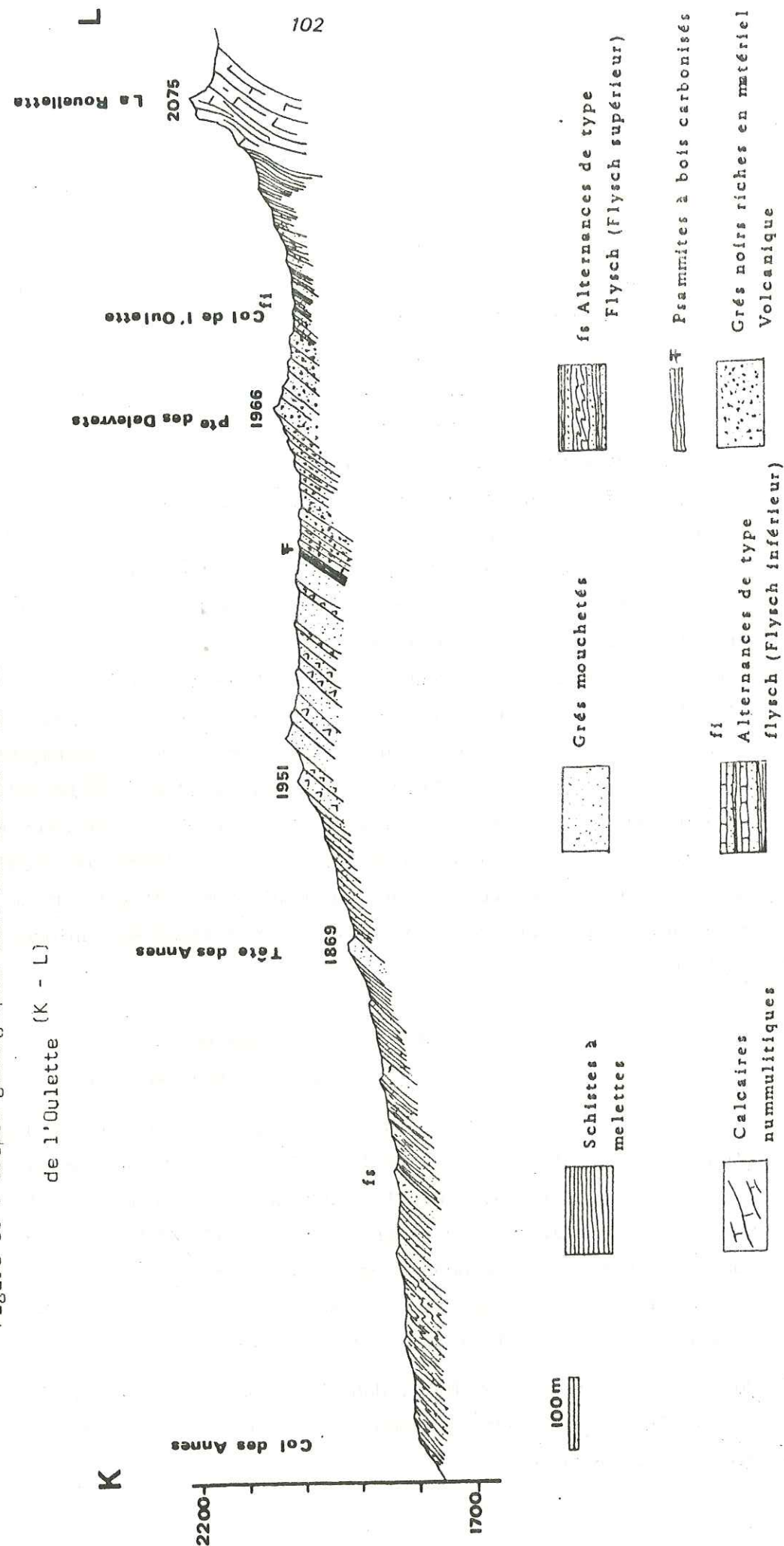
(Fig.51 & 52) (Coupe EF).

Cette coupe, relativement continue à l'exception d'un secteur faillé situé entre la Croix Fry et Le Merdassier (Fig.47), se caractérise elle aussi par l'abondance des grès noirs riches en matériel volcanique. Les faciès grossiers de tufs et brèches andésitiques sont plus rares. En revanche, les grès à tuffisites prédominent et marquent, selon toute vraisemblance, la proximité d'un émissaire éruptif (H. Cloos, 1941 ; J. Didier et al. 1978).

Une coupe, levée plus au Nord, dans le secteur de Croix de Colomaban (Coupe GH, Fig.48) montre de même l'abondance des grès noirs riches en éléments volcaniques.



Figure 53 : Coupes géologiques dans les secteurs du Col de l'Oulette (K - L)



2 d 3-2-4) Les secteurs de l'Oulette Tête des Annes (Fig.53)(Coupe KL) et du versant Est de la Tournette (Fig.54) (Coupe IJ).

Les formations qui affleurent à la faveur de cette coupe (KL) contiennent quelques niveaux riches en éléments volcaniques (G. Sawatski, 1975) mais ces derniers ne renferment que très peu de galets andésitiques. Les faciès grossiers, à caractère bréchique ou tufacé, sont absents. Le niveau à végétaux incarbonés semble marquer, comme dans les coupes, un épisode de démantèlement de la flore par les éruptions.

Dans le secteur sud-occidental du synclinal (versant Est de la Tournette, Coupe IJ, Fig.50) une vaste chappe d'éboulis recouvre le début des formations tertiaires. Il semble, toutefois, que les formations très riches en matériel volcanique soient moins abondantes que dans tous les autres secteurs.

2 d 3-2-5) Conclusions concernant la nature des dépôts volcaniques dans le synclinal de Thônes.

Les observations que nous avons mentionnées précédemment militent en faveur de l'autochtonie du volcanisme dans le bassin de sédimentation des grès du synclinal de Thônes. Il convient en effet de noter :

- \* La présence de grès sombres (grès noirs riches en éléments volcaniques) dans l'ensemble des coupes étudiées.
- \* L'existence de faciès grossiers, pratiquement monogéniques et formés exclusivement de débris andésitiques (galets et ejecta) assimilables à des tufs et des brèches.
- \* La mise en évidence de tuffisites, filons pyroclastiques intrusifs dans le sédiment qui sont caractéristiques des parties internes des édifices explosifs et généralement situés à l'aplomb des bouches superficielles.



Figure 54 : coupe géologique du versant Est de La Tournette

(I - J)

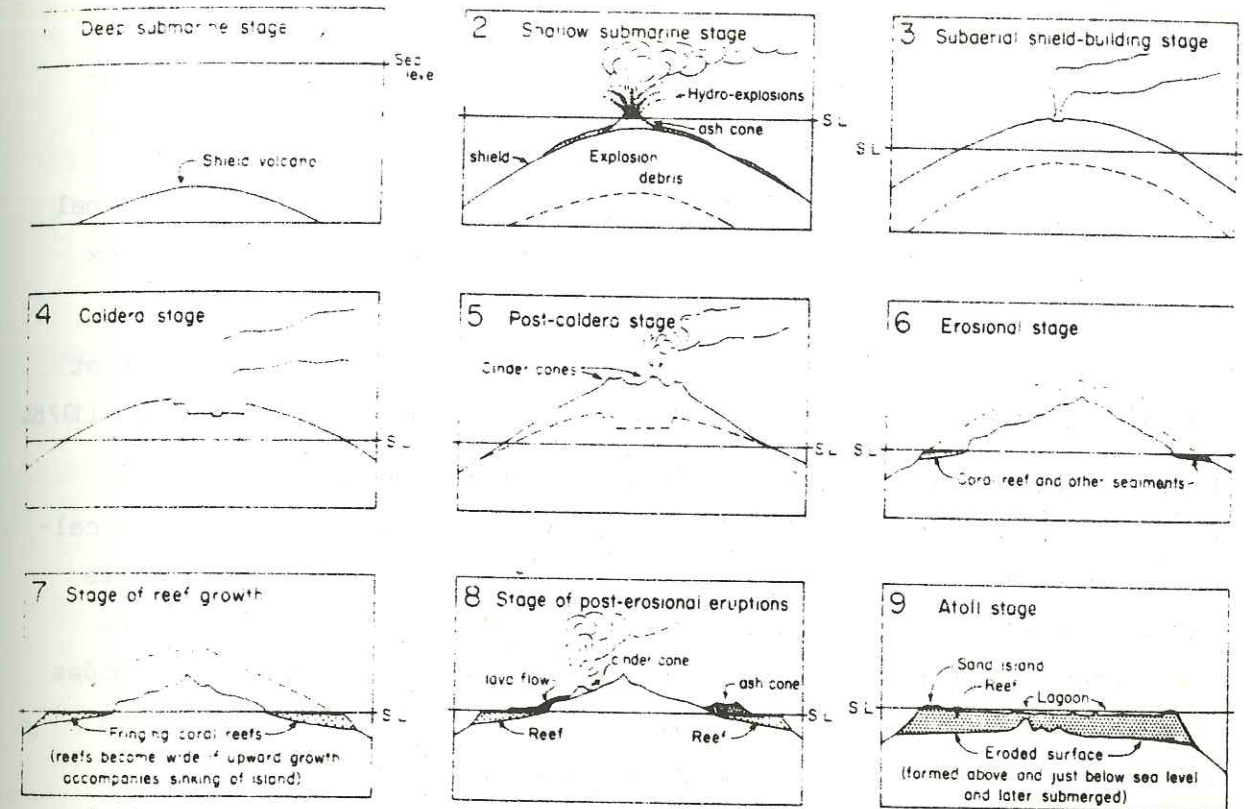
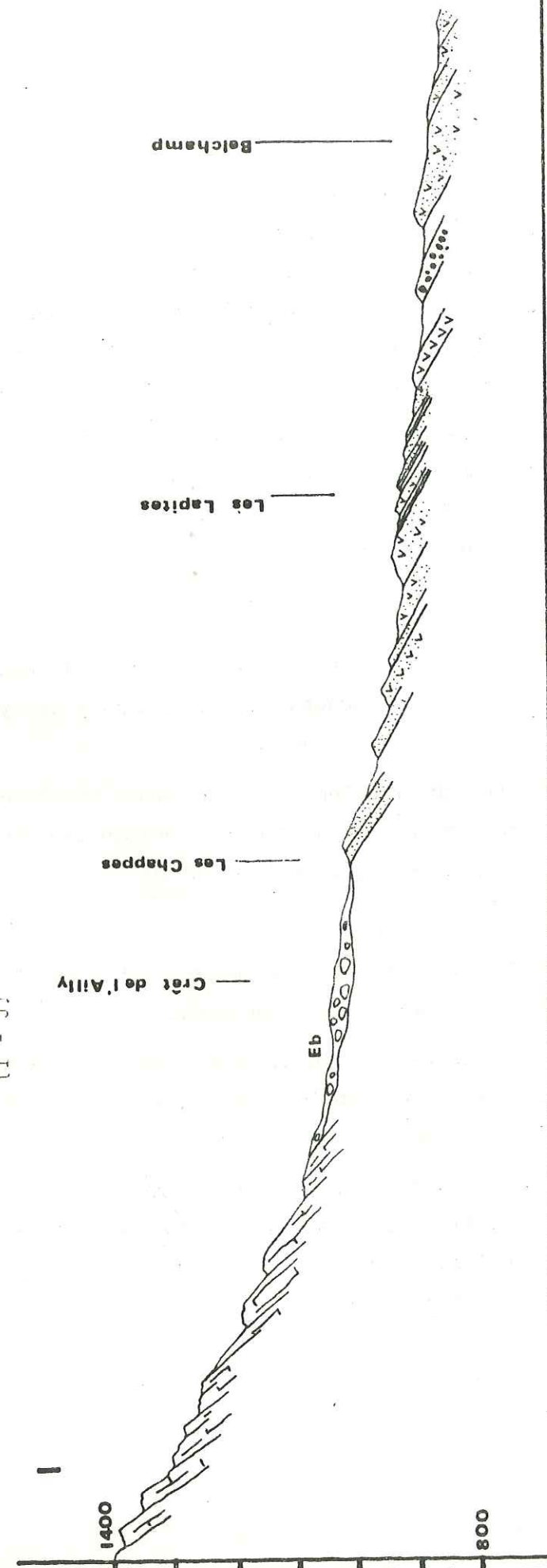


Figure 55 : G. Mac Donald, page 138, diagrams illustrating the typical stages in the life history of typical mid-ocean island  
(Modified after Stearns 1946).



Il nous faut toutefois convenir du fait qu'en dépit de l'abondance de ces arguments un problème se pose : LES BOUCHES ERUPTIVES N'ONT JAMAIS ETE DECOUVERTES.

2 d 3-3) Essai de reconstitution des phénomènes volcaniques paléogènes dans le district de Thônes.

2 d 3-3-1) Aperçu sur la structure du synclinal de Thônes à la lumière des travaux récents.

Nous ferons référence aux travaux de J. Rosset (1971), G. Sawatski (1975) et G. Vitally (1980), et S.O. Rivano-Garcia (1978).

Le synclinal de Thônes est le synclinal le plus oriental du massif des Bornes. Son axe est orienté NNE-SSW. Son ossature, constituée par les calcaires à nummulites qui surmontent les assises urgoniennes, est comblée par les formations détritiques tertiaires que nous avons décrites dans nos coupes. Ces formations sont autochtones (ou très légèrement déplacées lors des mouvements alpins récents). En accord avec S.O. Rivano-Garcia (1978) et G. Vitally (1980) nous considérerons les grès de Taveyenne comme autochtones ou très localement para-autochtones dans le synclinal de Thônes. Deux complications tectoniques affectent le synclinal de Thônes : La première consiste en un grand repli anticlinal qui arme le Mont Durand. La seconde est matérialisée par la présence de trois klippes tectoniques qui chevauchent les assises autochtones du synclinal : La klippe des Annes, la klippe de Danay et celle de Sulens. Les roches qui les constituent correspondent à du matériel plus interne (sub-briançonnais et ultrahelvétique).

Les déformations responsables de la structure du synclinal de Thônes ont été étudiées en détail par J. Rosset (1971) et S.O. Rivano-Garcia (1978).

Ils distinguent successivement :

\* Les mouvements ante-priaboniens :

Les transgressions nummulitiques sont arrivées sur une structure déjà formée et érodée (S.O. Rivano-Garcia, 1978).

Les structures ante-priaboniennes sont représentées par des bombements à grand rayon de courbure et par un système de failles décrochantes conjuguées (B. Pairis, 1975).

\* Les mouvements intra-priaboniens :

Ils se traduisent, selon ces auteurs, par le rejou de failles nummulitiques durant la sédimentation.

\* Les mouvements oligocènes :

Ce sont, de toute évidence, les plus importants. Ils s'inscrivent dans un contexte dominant de compression entraînant chevauchements et cisaillements.

Les structures étudiées dans la région (y compris les entraînements de flyschs para-autochtones) sont interprétées par S.O. Rivano-Garcia comme le résultat d'un serrage à composante NW-SE déjà invoqué par J. Carfantan (1975). C'est vraisemblablement dans ce contexte que s'est mise en place la klippe de Sulens dont l'"arrivée" a provoqué de nombreux écaillages (S.O. Rivano-Garcia, 1978).

\* Les mouvements ponto-pliocènes :

C'est à cette phase que sont rapportées les structures plicatives les plus marquées des chaînes sub-alpines. Les molasses rouges oligocènes et miocènes sédimentées dans les zones externes servent le plus souvent d'amortissement aux nappes frontales. La phase fini-Miocène correspond, selon S.O. Rivano-Garcia, à une compression de composante N.110° qui a eu pour effet une importante fracturation à N.145°-N.80° selon un réseau de décrochements senestres pour les premiers, dextres pour les fractures à N.80°.

C'est à ces mouvements que G. Sawatski (1975) attribuait certains rétrocharriages qu'il avait observés dans des formations de grès de Taveyenne du secteur de Thônes.

Nous retiendrons que l'Oligocène correspond à une période d'intense serrage à composante NW-SE dominante. Le volcanisme andésitique semble donc s'être mis en place dans un contexte dominant de compression contemporain de la sédimentation des grès de Taveyenne.



## 2 d 3-3-2) Dynamique du volcanisme : essai de reconstitution des phénomènes éruptifs.

Pour mieux cerner l'histoire complexe de la reconstitution de l'histoire du volcanisme il convient, tout d'abord, de rappeler qu'en dépit du volume considérable de sédiment détritique constitué de mélanges lave-sédiment, il est impossible de retrouver les bouches éruptives. L'hypothèse selon laquelle les centres d'émission seraient masqués par les chevauchements semble peu probable car il faudrait envisager qu'ils se trouvent relativement éloignés du synclinal de Thônes. Cette possibilité semble exclue par le caractère des fragments volcaniques qui ne montrent souvent que peu d'indices d'un transport même bref.

On est donc amené à invoquer une dynamique particulière, à dominante très explosive, nécessitant un contexte marin ou littoral entraînant la pulvérisation intense du magma et son mélange avec le sédiment. De telles éruptions éjectent des volumes considérables de produits volcaniques qui s'accumulent proches des émissaires et recouvrent ces derniers.

G. Vitally (1980) qui a montré la quasi impossibilité d'une alimentation détritique interne comme explication du volcanisme des grès de Taveyanne invoquait une dynamique phréatomagmatique engendrant des pépérites.

Les études paléogéographiques conduites dans les secteurs du synclinal de Thônes et la zone d'Arâches tendent à montrer que le domaine de sédimentation des grès de Taveyanne correspondait, à l'Oligocène, au comblement de la mer nummulitique par les apports détritiques déversés par les unités alpines "en marche" vers les zones externes (G.O. Rivano-Garcia, 1978).

L'apparition de végétaux dans les termes moyens de la série gréseuse, le caractère remanié des faunes présentes suggèrent des milieux marins peu profonds, voire littoraux, où affleurent les grès riches en matériel volcanique.

Plusieurs modèles peuvent alors être envisagés pour tenter une reconstitution paléovolcanologique :

- \* Edification de volcans sous-marins et formation d'îlots volcaniques émergents.

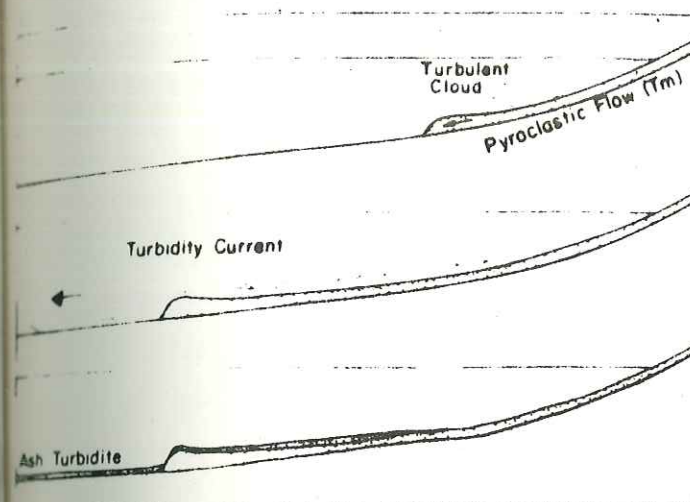


Figure 56 : Entrée d'un épanchement pyroclastique dans l'eau de mer.  
(Sparks R.J.S. et coll. 1979)

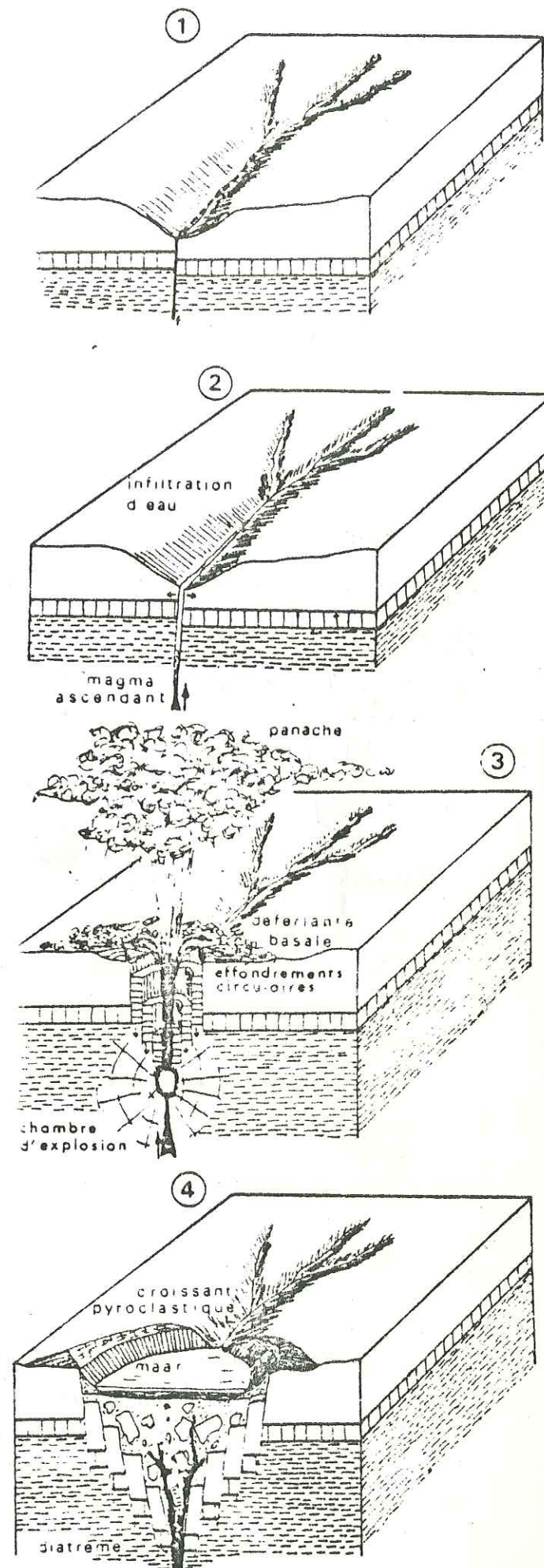


Figure 57 : Le modèle phréatomagmatique de G. Camus (1975)  
modifié par G. Vitally (1980)

- (1) : Ouverture d'une fissure sur le trajet d'un cours d'eau
- (2) : Montée du magma le long de cette fissure
- (3) : Rencontre de l'eau descendante et du magma ascendant : éruption phréatomagmatique
- (4) : Etat final



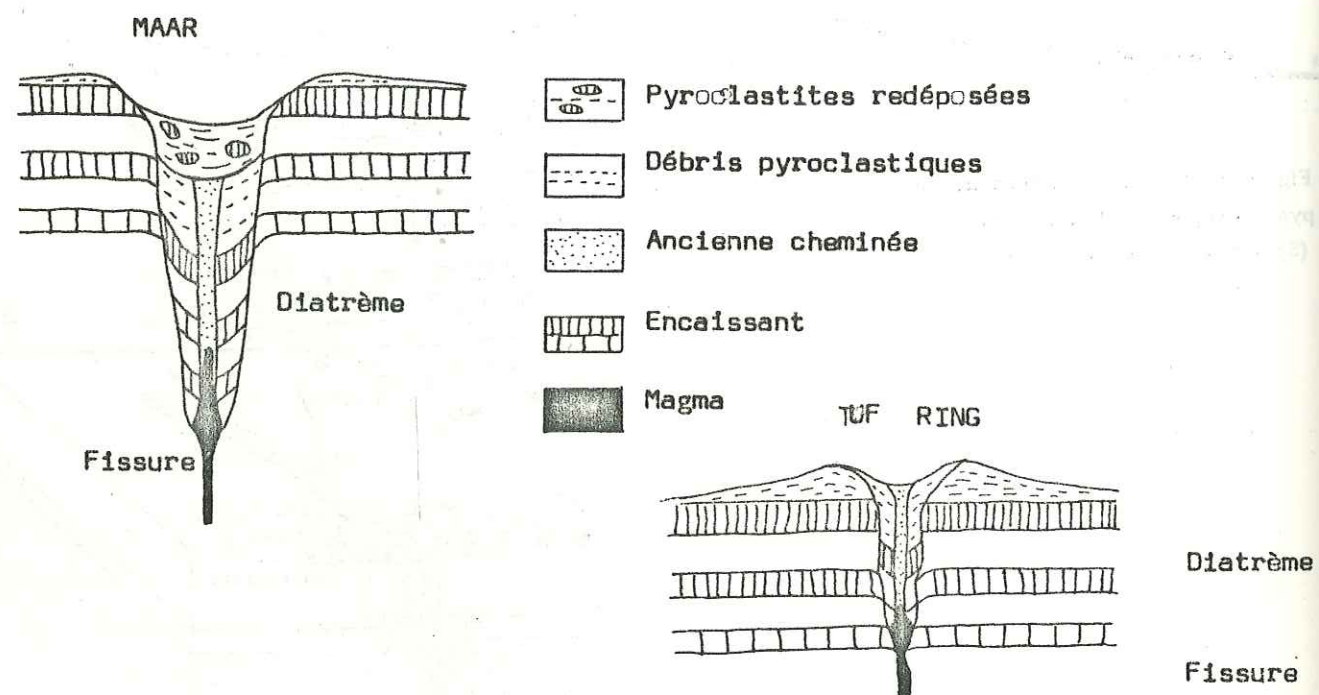


Figure 58 : Section schématique à travers des volcans de type Maar-Diatrème ou Tuf-Ring-Diatrème d'après V. LORENZ (1973)

- \* Formation de volcans en domaine émergé et coulées pyroclastiques dévalant les pentes du volcan pour glisser sur le plateau continental en direction du bassin de sédimentation.
- \* Eruptions essentiellement phréatiques de type pépéritique (modèle invoqué par G. Vitally, 1980).
- \* Mise en place de cônes littoraux à dominante explosive projetant en mer leurs pyroclastites.

#### DISCUSSION .

Le premier cas : correspond au modèle de G.A. Mc Donald (1970) modifié de H.T. Stearns (1946) pour les volcans de type océanique. Les auteurs distinguent neuf stades de mise en place, les principaux correspondant à l'édification d'un cône sous-marin de débris explosifs (1-2) suivie d'une émergence de la partie supérieure de l'ensemble (stade hydro-explosif). Après le stade caldera (4-5) une période d'érosion (5-6-7) puis un stade éruptif (8). L'histoire d'un cycle éruptif s'achève par l'installation d'un atoll (Fig.55).

Ce modèle a l'avantage de présenter au moins deux périodes de l'activité volcanique où les produits pyroclastiques sont en contact avec l'eau de mer et par-là même avec le sédiment. Il n'a cependant été invoqué que dans le cas d'îles océaniques et, comme nous le verrons dans le chapitre Géodynamique, le contexte oligocène était différent.

Le second cas : correspond au modèle R.J.S. Sparks et coll. (1979-1980) établi dans l'arc des petites Antilles qui montre comment se fait l'entrée dans l'eau de mer d'un épanchement pyroclastique (Fig.56). Le matériau émis à partir du volcan émergé dévale les pentes de l'îlot et atteint des profondeurs de l'ordre de 2000m.

Ce modèle occasionne un mélange entre le sédiment et l'épanchement pyroclastique. Ce mélange n'intervient cependant qu'au front de ces coulées où sont engendrés des courants de turbidité. Nous ne pouvons retenir ce modèle, car nous ne disposons d'aucun indice permettant de reconstituer un îlot volcanique et la répartition homogène sur une très grande superficie des grès riches en matériel volcanique exclut l'hypothèse de coulées pyroclastiques successives dont les études paléogéographiques et sédimentologiques auraient permis de localiser les limites.



Le troisième cas : fait intervenir des processus uniquement phréatiques. G. Vitally (1980) a remarqué les analogies existant entre les pépérites et certains faciès des grès de Taveyanne. Cet auteur souligne, cependant, l'absence de structures volcaniques conservées ou décelables dans les grès de Taveyanne.

Dans le modèle phréato-magmatiste (Fig.57) les fragments de laves sont caractérisés par la présence de palagonite. Le métamorphisme alpin ayant fortement modifié la composition chimique des terres volcaniques, il est impossible de dire si la palagonite était présente dans les ejecta andésitiques.

Les trois modèles que nous venons de décrire supposent, pour être invoqués, la connaissance des émissaires éruptifs. Dans le cas qui nous intéresse ces derniers semblent cachés ou non encore découverts.

Au stade actuel des connaissances il est possible de prendre en compte les faits suivants :

- Les grès de Taveyanne du secteur de Thônes et de la région d'Arâches contiennent en abondance du matériel andésitique vitreux sous forme d'ejecta, de minéraux isolés et de galets.
- La proportion en éléments volcaniques varie sensiblement suivant les secteurs.
- Les mélanges laves-sédiments sont fréquents.
- Les tufs intrusifs (tuffisites) sont localisés dans certains secteurs.
- Les bouches éruptives semblent ne pas affleurer.

Nous évoquerons le quatrième type de mise en place :

Les cônes littoraux se développent en Islande (S. Thorarinsson, 1953), à Hawaii (G.A. Mac Donald, 1967) mais aussi dans l'Orégon (R.E. Fuller, 1928). L'éruption des cônes littoraux se traduit par la création de nuages de fumée formée de vapeur d'eau et de magma pulvérisé. Les produits volcaniques ainsi déposés sont formés d'un mélange de sédiment non encore consolidé et de magma intensément pulvérisé.

A Surtsey en Islande ou à Capelinhos aux Açores, des volumes considérables de magma pulvérisé ont été éjectées et sédimentées en milieu littoral.

Ce dernier modèle ne convient toutefois pas, à lui seul, à intégrer toutes les données de terrain dont nous disposons. En effet, dans le cas de volcans de type Surtsey ou Capelinhos, le cône édifié est très vaste et, si de telles structures avaient été édifiées par les éruptions oligocènes, on en retrouverait les vestiges. L'absence totale de faciès effusifs (coulées, extrusions) associées aux tufs et aux brèches s'intègre mal dans ce dernier modèle, car bien que les coulées soient très rares, elles se sont néanmoins répandues à Surtsey comme aux Açores.

Il semble que l'on puisse invoquer, dans le cas de Thônes comme dans celui de l'Arbaron, un dynamisme de type très explosif avec intense pulvérisation du magma et mélange avec le sédiment littoral sans coulées, le magma étant représenté à l'état de lapilli et de petites bombes très vitreuses.

Nous penchons donc vers l'hypothèse d'un volcanisme littoral à caractère très explosif. Le fait que les projections volcaniques aient pu se déformer, engluer ou même incorporer des éléments volcaniques plus fins montre que leur chute s'est opérée à l'air libre (ou sous très faible tranche d'eau), car ces ejecta auraient immédiatement été figés en cas de mise en place en domaine marin profond (J-D. Giraud et al., 1981). Les grès de Taveyanne étant des formations marines, comme le montrent la faune qu'ils renferment et l'aspect des séquences lithologiques (J. Martini, 1968), il est nécessaire d'imaginer un processus permettant le passage des projections en domaine marin, sans usure. Il semble qu'un glissement en masse de cendres sur les pentes d'un volcan situé en zone littorale puisse être retenu.

La nature des éléments volcaniques présents dans les grès de Taveyanne milite aussi en faveur d'un volcanisme littoral. Ces formations contiennent une très forte quantité de particules vitreuses très fines (inf. à 2mm), largement représentées par des cendres. Quant aux coulées, elles devaient être très rares, voire absentes, aucune en effet n'ayant été découverte, les galets andésitiques étant exceptionnels.



Nous invoquerons donc un modèle d'éruptions littorales émettant une grande quantité de cendres et de projections. Cette dynamique particulière faisant intervenir des volcans littoraux à phases phréatiques (pulvérisation intense du magma et mélange aux sédiments) nous semble rendre assez bien compte de la nature des phénomènes volcaniques qui ont conduit à la formation des grès de Taveyenne riches en éléments volcaniques. Cette hypothèse a le mérite d'expliquer l'absence à l'affleurement de bouches volcaniques.

SI NOS OBSERVATIONS SONT EXACTES CES BOUCHES ERUPTIVES DOIVENT SE  
TROUVER A L'APLOMB DES ZONES LES PLUS RICHES EN MATERIEL VOLCANIQUE.

DISCUSSION.

A l'aide des données de G. Sawatski (1975) et de nos observations géologiques sur le synclinal de Thônes, nous avons dressé la Carte 6 sur laquelle ont été figurés les faciès franchement volcaniques. Les faciès de brèches et de grès riches en ejecta pourraient représenter les vestiges du croissant pyroclastique d'un maar dont la partie centrale se situerait dans la région du Merdassier (zone riche en tuffisites). Les grès très riches en matériel volcanique pourraient représenter les produits de remaniement de ce croissant. Les grès dits intermédiaires par G. Sawatski, et qui surmontent ces formations riches en matériel volcanique représenteraient, selon nous, les produits de comblement du maar. Les nombreuses figures de slumps observées en particulier sur la coupe du Mont pourraient, dans ce modèle, représenter les zones de glissement des pentes internes du croissant lors de son érosion et de son comblement.

La Figure 58 montre le modèle que l'on peut utiliser dans nos reconstitutions. Il est emprunté à V. Lorenz (1973). La Figure 59 montre une reconstitution en plan et en coupe du volcan qui a dû, à l'Oligocène, alimenter le bassin de sédimentation des grès de Taveyanne en produits volcaniques. Signalons, enfin, que dans le secteur du Merdassier (Fig.52) une invisibilité étendue, probablement due à une faille verticale (S.O. Rivano-Garcia, 1978) pourrait être interprétée comme la fissure génératrice du système maar-diatrème.

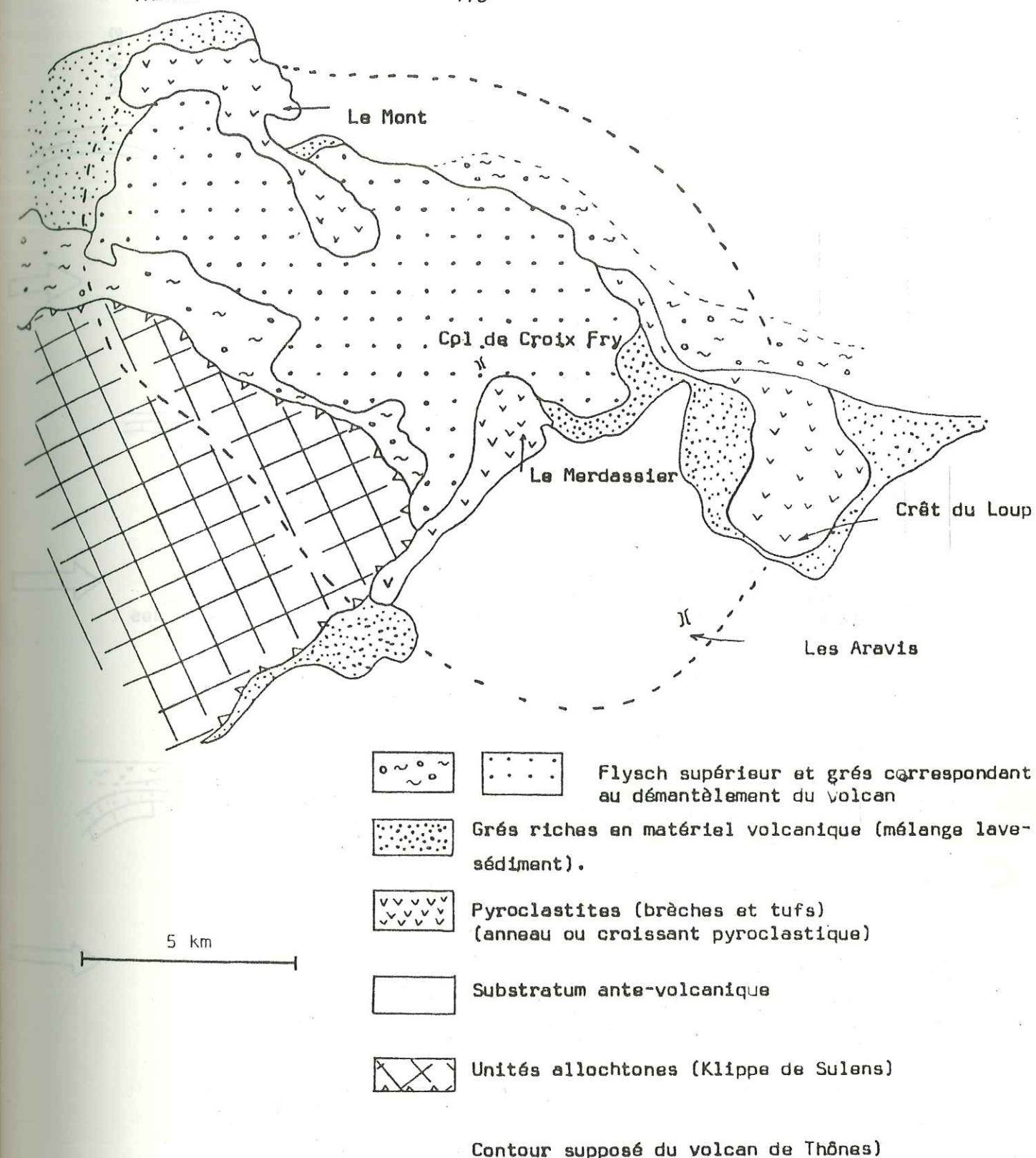
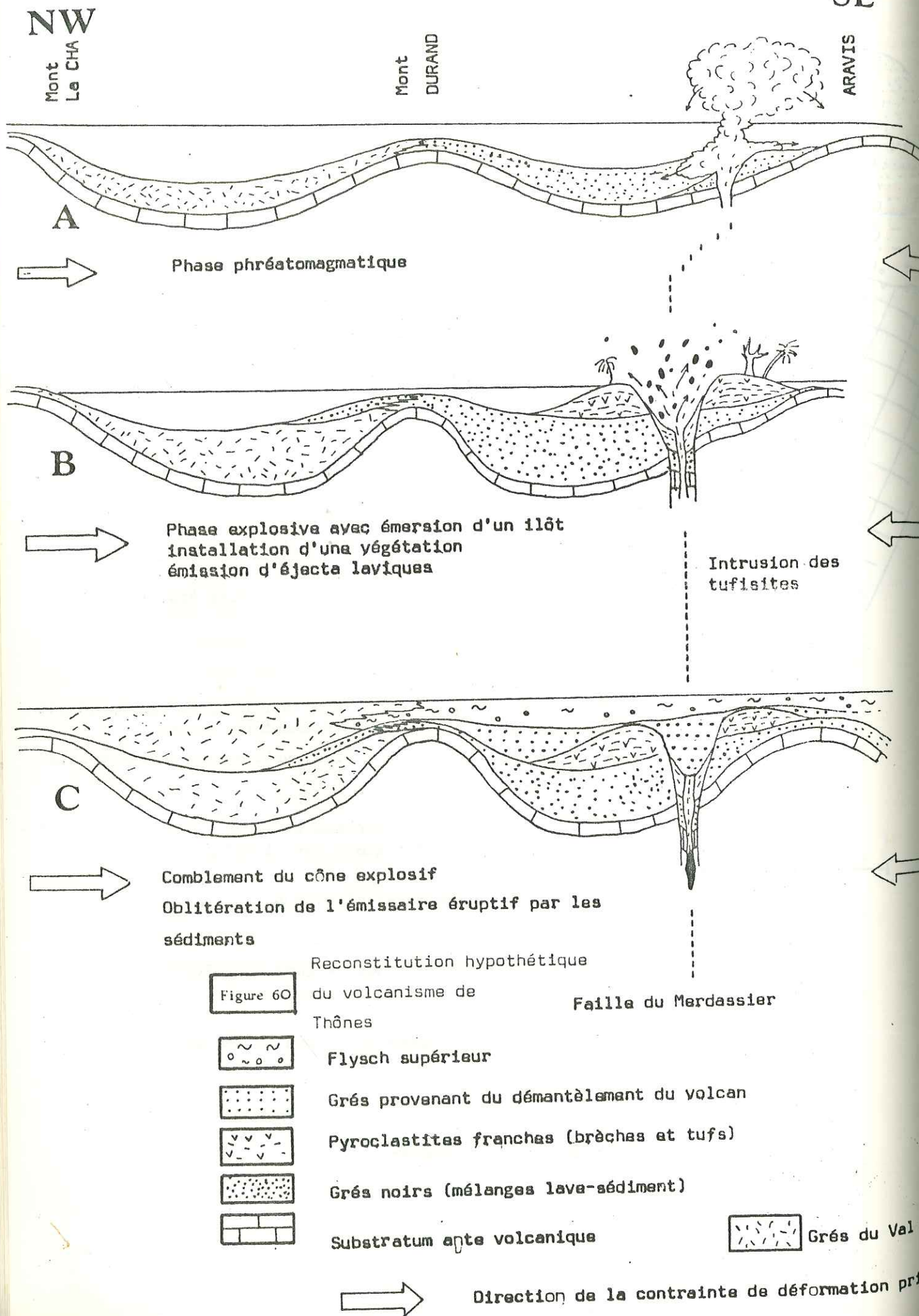


Fig.59 : Carte géologique du volcan de Thônes





Il est vraisemblable qu'un dispositif analogue ait fonctionné dans le secteur de l'Arbaron, mais dans cette zone les contours de l'ancien édifice sont impossibles à mettre en évidence. Dans les deux cas (Thônes et Arbaron) les édifices semblent s'être mis en place à proximité de hauts-fonds (l'Arbaron dans le district de Cluses-Arâches) et le pli de l'Etale, ou le Mont Durand, dans le district de Thônes. Nous concluons, en l'absence de données plus complètes, en proposant le modèle reconstitutif de la Figure 60.

Dans cette reconstitution, les grès du Val d'Illeiez représenteraient l'équivalent de la série de Taveyenne là où les produits volcaniques ne se sont pas déposés. Nous retrouvons une analogie supplémentaire avec ce que l'on avait décrit dans le synclinal de Saint-Antonin (Province sub-alpine méridionale) où nous avons intégré le volcanisme dans un contexte détritique continu de l'Eocène supérieur à l'Oligocène moyen-supérieur.



### C) SIGNIFICATION GEODYNAMIQUE DU VOLCANISME

#### PERI-ALPIN OCCIDENTAL. Existence d'un "arc volcanique continu".

Un grand nombre d'auteurs, dont nous avons cité les principaux, ont admis l'idée d'un "arc volcanique continu" à la périphérie de l'arc alpin occidental. Il s'agit d'une hypothèse de travail et nous sommes, actuellement, en mesure de confirmer cette hypothèse. Nous avons vu, dans la première partie du chapitre, que les âges de mise en place des différentes manifestations volcaniques étaient comparables et qu'effectivement, le volcanisme paléogène semblait s'être épanché tout autour des Alpes, de l'Oligocène inférieur à l'Oligocène moyen-supérieur.

Pour démontrer l'existence d'un "arc continu" il fallait montrer que le volcanisme s'était manifesté, dans toutes les provinces de la même zone structurale de la chaîne alpine, dans des contextes sédimentaires comparables à ce qui devait conduire à replacer le volcanisme paléogène dans le contexte plus vaste de la tectonique globale à l'échelle alpine et méditerranéenne occidentale.

REMARQUE : Pour replacer le type de volcanisme qui nous intéresse dans un contexte géodynamique, il est d'usage de prendre en compte, au préalable, les données de la pétrologie et de la géochimie. Nous avons préféré essayer de déterminer ce contexte à l'aide des données géologiques de terrain auxquelles nous confronterons les études de laboratoire.

#### 1°) POSITION STRUCTURALE ANALOGUE DES DIFFERENTES PROVINCES.

Le volcanisme paléogène s'est manifesté dans des bassins de sédimentation externes vis-à-vis de la chaîne alpine proprement dite, entre les massifs cristallins externes et l'avant-pays. Il s'agit du domaine des chaînes sub-alpines regroupées sous le vocable de zone dauphinoise. Ces zones ont été le siège, au Paléogène, de sédimentations souvent syntectoniques placées sous le contrôle de contraintes compressives orientées NW-SE au Nord de la zone sub-alpine ; et N-S dans les chaînes sub-alpines méridionales.

La mise en place du volcanisme paléogène a été commandée par une phase de distension, vraisemblablement de courte durée intervenant dans un contexte dominant de compression sub-méridienne.

Dans la Province Liguro-Provençale, le volcanisme s'exprime à la faveur de l'ouverture de fossés sub-méridiens et, dans les chaînes sub-alpines méridionales, ce même volcanisme se met en place dans un contexte de plissement Est-Ouest commandé par une contrainte principale de polarité Nord-Sud compressive. Dans ce secteur des Alpes, il semble donc que la compression, effective au Paléogène, ait eu deux effets différents (la formation de plis à axes Est-Ouest dans les chaînons sub-alpins méridionaux et l'ouverture de fossés Nord-Sud dans l'avant-pays). Ce dispositif particulier est schématisé dans le modèle de la Figure 61 (J-D. Giraud et coll., 1981). Les études récentes du contexte des manifestations paléogènes du volcanisme semblent confirmer ce modèle (C. Mangan, 1982).

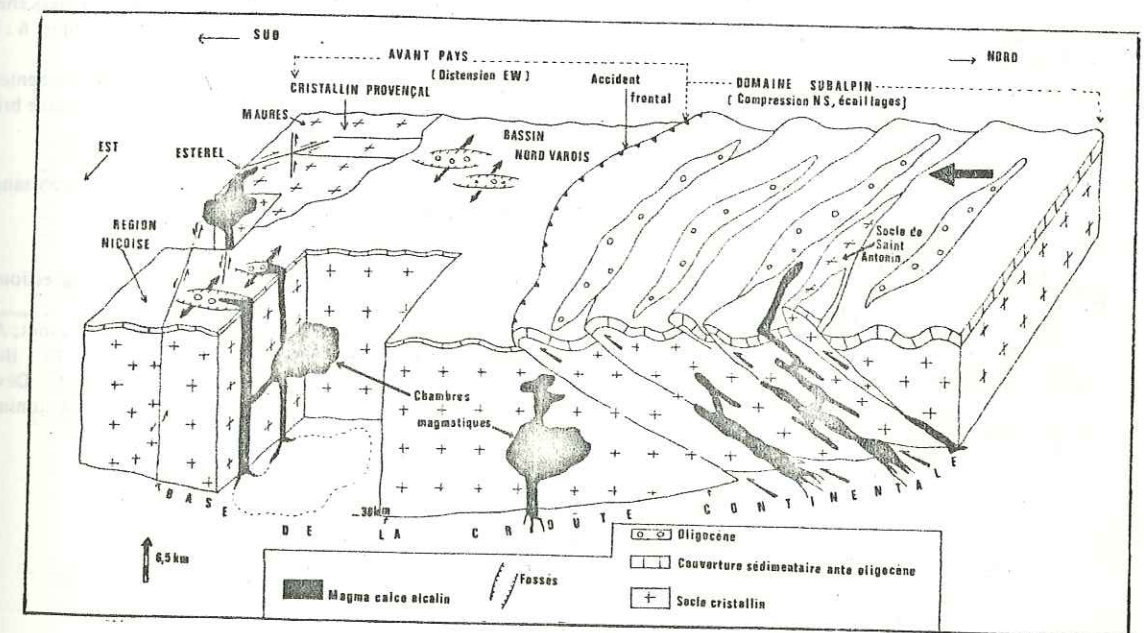


Figure 61 : Contexte tectogénétique du volcanisme péréalpin occidental paléogène des chaînes sub-alpines méridionales (J-D. Giraud et coll., 1981).



Du point de vue paléogéographique, nous disposons d'une carte synthétique coordonnée par J. Debelmas à partir des travaux des géologues alpins à l'occasion du 26ème C.G.I. (Fig.62).

On remarque, sur cette carte, que le volcanisme paléogène s'est toujours manifesté dans des zones paléogéographiques littorales. Ces zones paléogéographiques correspondaient à des bassins à remplissage détritique alimentés soit par du matériel pennique, soit par du matériel cristallin provenant de socles, affleurant au paléogène et actuellement recouverts par les charriages (Socle de Saint-Antonin).

#### Le domaine du Paléogène marin des Alpes Occidentales.

Les affleurements de la zone externe sont dans leur situation actuelle; l'Ultrahelvétique, les domaines arvinche et tendasque, et certains secteurs des zones externes ont été remis en position palinspastique très schématique (on n'a pas tenu compte de coulissements longitudinaux éventuels à la limite des zones, ni des rotations de certains ensembles de la zone externe).

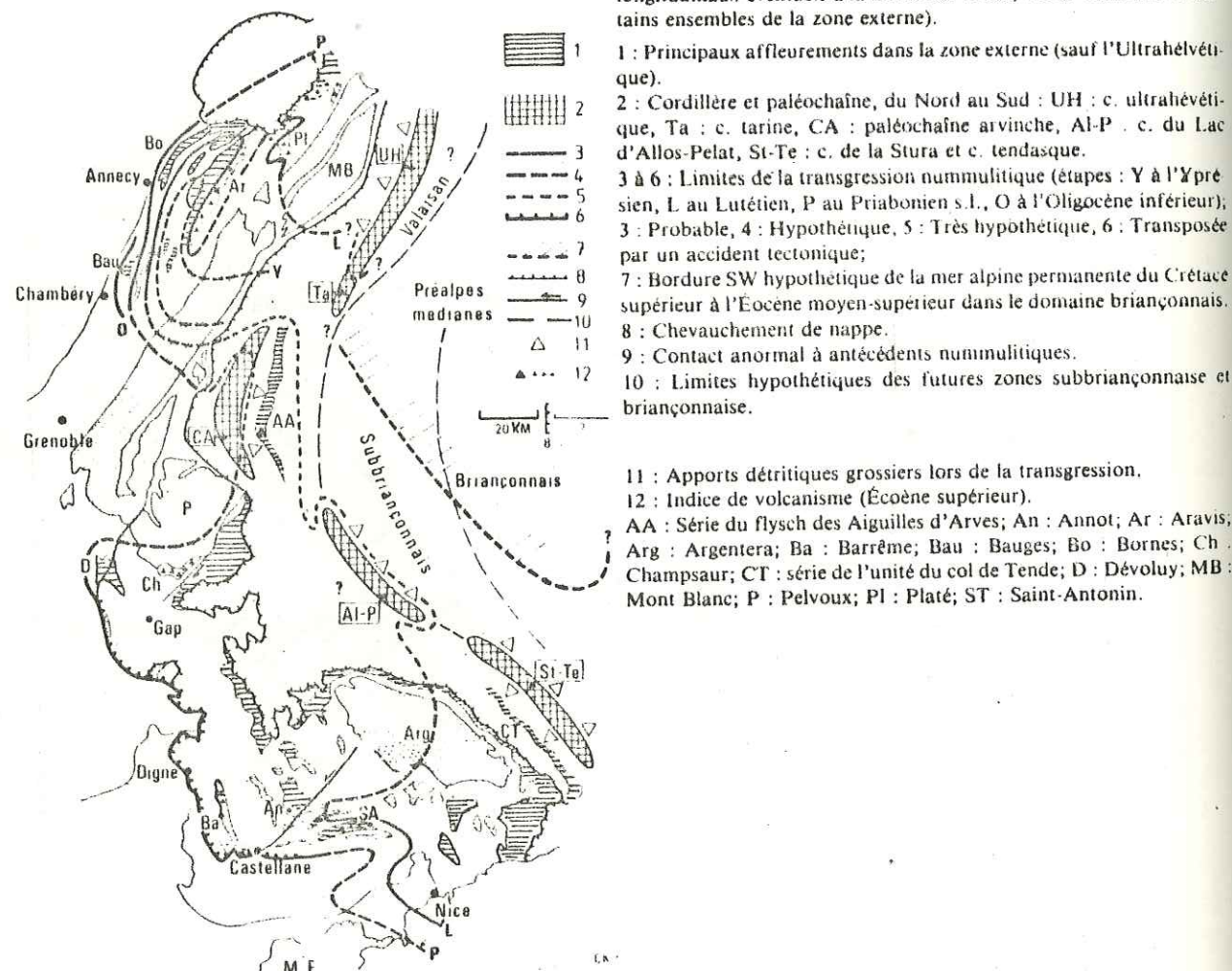


Figure 62 : Le domaine du Paléogène marin des Alpes occidentales.

In : 26ème Congrès Géologique International, Paris 1980.

## 2°) ANALOGIES CONCERNANT LE MILIEU DE MISE EN PLACE DES VOLCANITES PALEOGENES : COMPARAISON ENTRE LE SYNCLINAL DE THÔNES ET LE SYNCLINAL DE SAINT-ANTONIN.

Ces deux synclinaux, que nous avons étudiés en détail (en ce qui concerne les manifestations volcaniques) sont tous deux situés dans la zone subalpine et présentent une structure, une évolution identiques et ont été le siège du même volcanisme (Fig.62).

Le Tableau 2 résume ces analogies.

	Synclinal de Thônes	Synclinal de St. Antonin
STRATIGRAPHIE		
TECTONIQUE	<p>compression post volcanique</p> <p>volcanisme andésitique</p> <p>plis synsédimentaires (anticlinal du Mont-Durand)</p> <p>compression NW - SE</p>	<p>compression post volcanique</p> <p>volcanisme andésitique</p> <p>plis synsédimentaires (anticlinaux Adrech, Le Puy)</p> <p>compression N - S</p>

Tableau 2 : Corrélations entre le synclinal de Thônes et le synclinal de Saint-Antonin.



### 3°) VOLCANISME PALEOGENE ET TECTONIQUE GLOBALE.

#### 3 - 1) Historique des travaux.

Plusieurs géologues ont déjà tenté de replacer le volcanisme paléogène des chaînes subalpines dans le contexte de la tectonique globale. Nous citerons les principaux auteurs :

J.F. Dewey et coll. (1970) et J.F. Dewey (1973) interprètent le volcanisme paléogène comme le résultat de la collision entre la plaque ibérique et la plaque carnique. Dans les Alpes, la subduction est matérialisée par le volcanisme des grès de Taveyanne et les grès du Champsaur (Fig.63). Le volcanisme de la Province Liguro-Provençale et de l'ensemble sub-alpin méridional est ignoré.

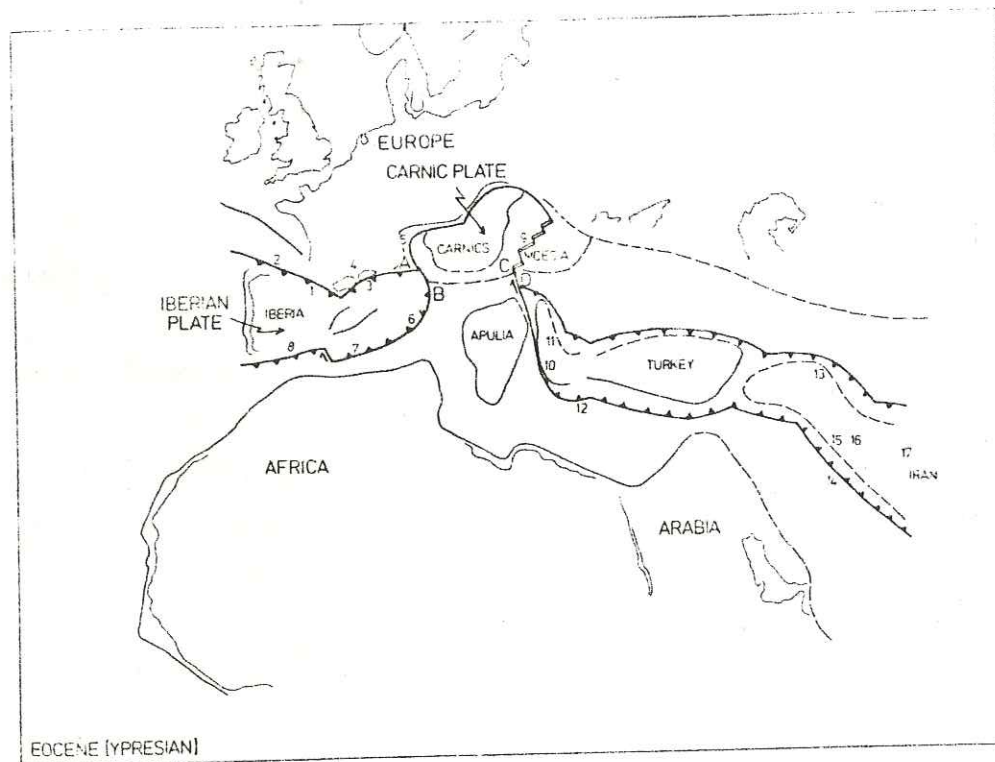


Figure 63 : Schéma de disposition des plaques à l'Yprésien (situation antevolcanique) d'après J.F. Dewey (1973).

Loc.4 : dépôt des grès d'Annot

Loc.5 : dépôt des grès de Taveyanne.

R. Caby (1973) remarquant la position externe des "restes andésitiques" arrive à supposer l'existence d'une zone de subduction dont le plan de Benioff plongeait vers l'Ouest et non vers l'Est, comme le supposaient H. Laubscher (1971), Boccaletti et coll. (1971) et W.G. Ernst (1971).

Un plan de Benioff plongeant vers l'Ouest ne pourrait être en liaison qu'avec l'ouverture d'un océan téthysien à partir d'une dorsale océanique en position piémontaise, au cours du Jurassique et du Crétacé inférieur.

J. Debelmas (1975) admet que le matériel andésitique paléogène du pourtour des Alpes est lié à la "fusion profonde des matériaux sous-charriés dans le plan de Benioff", ceci dans le cadre des modèles invoqués pour expliquer la genèse du volcanisme calco-alcalin mais il conclut, au terme d'une longue discussion, à l'existence d'un réel problème d'interprétation qui l'incite à remettre en question l'association établie d'un volcanisme calco-alcalin avec une subduction. En 1978, A. Amstutz étudie la formation des Alpes dans le segment Valaisan-Valdotin. Selon cet auteur, entre la formation des nappes préalpines (Eocène) et la formation des nappes helvétiques (Oligocène) "il s'est produit un phénomène intercalaire consistant en une subduction souple (subduction qui modifie la forme du bourrelet rhéomorphique sans provoquer de cisaillement notable créateur de nappes dans les zones superficielles de la chaîne).

Dans ce modèle, la zone à fort gradient de pente du bourrelet a vraisemblablement été le siège d'étirements et de fissures qui ont permis l'ascension du magma andésitique piégé en base de croûte continentale.

Ce modèle est figuré (Fig.64) phases 11 et 12 de A. Amstutz (1978) et n'est valable que pour expliquer le volcanisme andésitique des provinces septentrionales.

En 1980, dans le cadre du 26ème C.G.I. la synthèse sur la chaîne alpine place le volcanisme des chaînes subalpines septentrionales à l'Eocène supérieur, durant une "phase de détente dans la zone externe". Le volcanisme est interprété comme à l'état de "débris" et la répartition des cheminées est supposée en zone plus interne que les bassins de sédimentation ("flexure pennique frontale").

Le schéma de M. Mattauer et coll. (1978) y est mentionné. Ce schéma indique à 80 Millions d'années un écrasement de la zone océanique avec subduction au Crétacé supérieur de la plaque lithosphérique océanique sous la marge subalpine. A 60 M.A. et à 40 M.A. on assiste à l'obduction de larges protions de croûte océanique sur la croûte continentale (Fig.65).



# Genèse des nappes préalpines et helvétiques durant l'Eocène et l'Oligocène

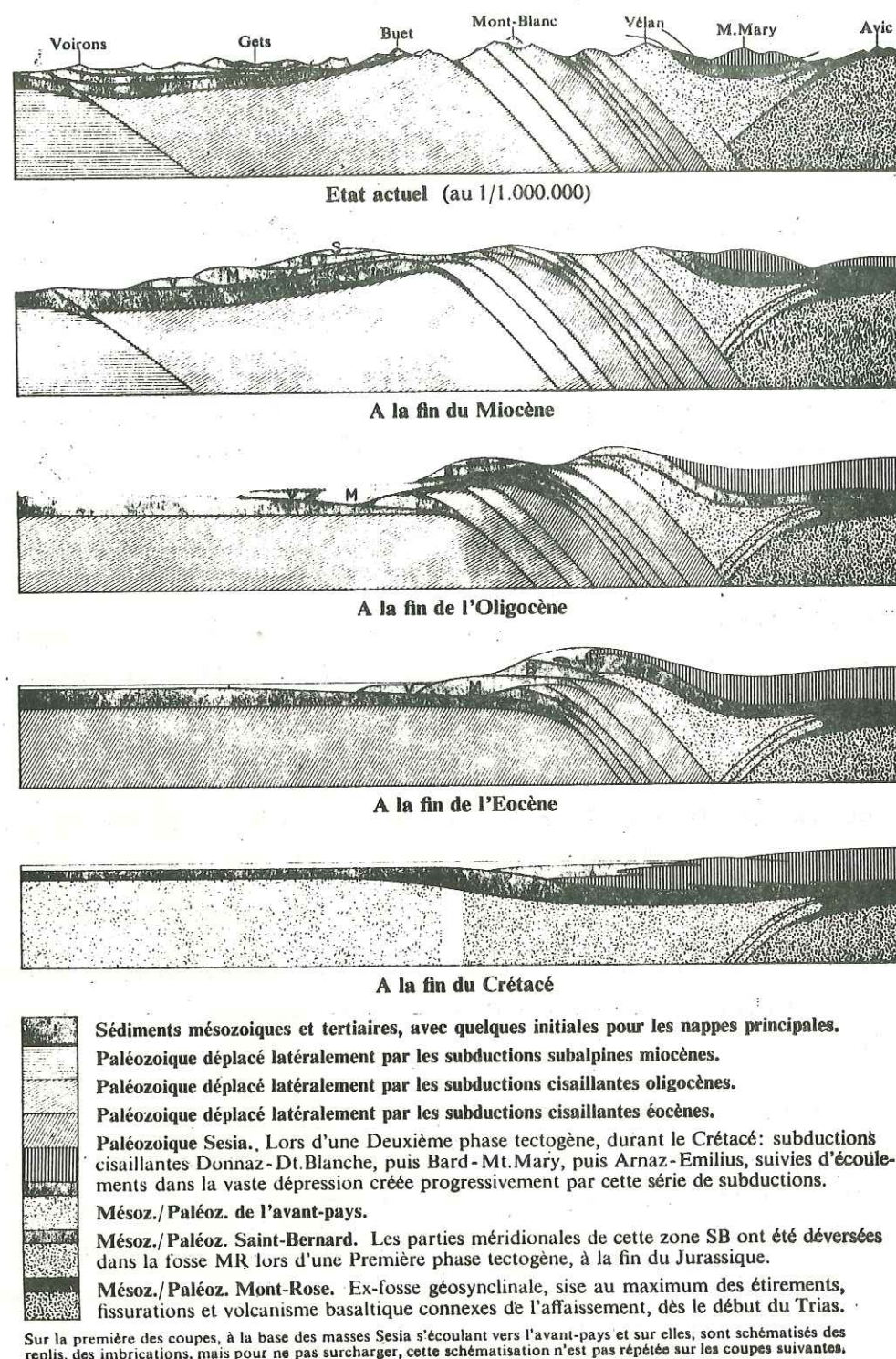


Figure 64 : Modèle de A. Amstutz (1978) pour les nappes préalpines et helvétiques.

En 1981, M. Le Guern conclut que le volcanisme alcalo-alcalin du pourtour alpin occidental n'est pas lié à une zone de subduction mais à des conditions tectoniques particulières qui "miment les conditions d'une subduction". L'auteur invoque pour cela l'existence de cisaillements crustaux favorisant des plans inclinés vers l'Ouest. "Les cisaillements reproduiraient localement des conditions de pression et température développés lors d'une subduction". Les données de la géophysique vont cependant à l'encontre d'un tel modèle (M. Recq, 1970 et A. Hirn, 1980).

La synthèse des données géophysiques concernant le Sud-Est de la France (26ème C.G.I. Paris, 1980) ont apporté des renseignements importants sur la structure du socle ante-triasique des Alpes occidentales dans le Sud-Est de la France.

"A l'aide d'études détaillées des anomalies de propagation des ondes sismiques P (s'étant propagées dans la partie superficielle de la croûte et enregistrées le long de plusieurs profils dans le Sud-Est de la France) corrélées avec les données de forages profonds, a été établie une carte isobathe du socle ante-triasique qui donne une idée générale de la forme du substratum des sédiments alpins".

L'apport essentiel de cette contribution est la mise en évidence de deux zones distinctes en ce qui concerne le comportement des socles.

- \* Les domaines à socle peu profond ou affleurant (Maures, Estérel, Champsaur, Ubaye).
- \* Les domaines à socle profond (domaine Vocontien, arc de Castellane).

"Le canevas alpin, au moment de la création des bassins devait être conditionné par des comportements différents du socle : des zones hautes relatives à socle rigide-rapide et des zones à subsidence à socle déformable-lent".

"Ultérieurement, lors des déformations alpines les limites entre bassins très subsidents et zones hautes ont été probablement les zones de départ des futurs chevauchements. L'épaississement brusque de la croûte sous les massifs cristallins externes suggère que ces chevauchements sont profonds et se prolongent loin dans le domaine alpin. Des écaillages où le socle cristallin chevauche vers le N-W des portions de sa couverture peuvent



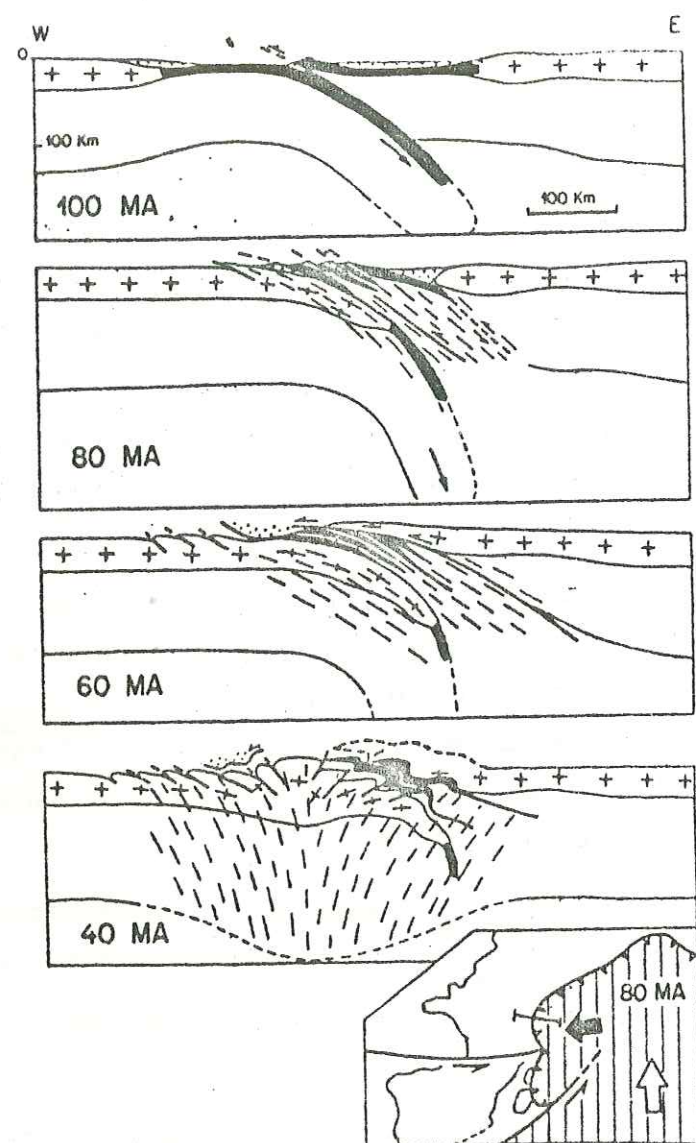


Figure 65 : Les Alpes et la théorie des plaques  
(M. Mattauer 1978)

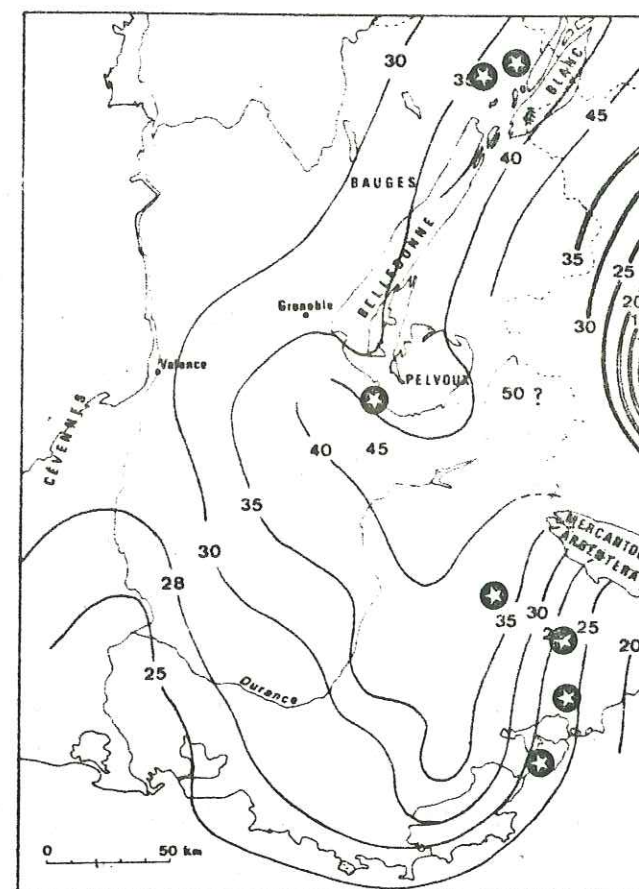


Fig  
66

Carte de la profondeur de la surface de Mohorovicic dans les Alpes occidentales en (kilomètres). Les doubles traits correspondent au « Corps d'Ivrea »

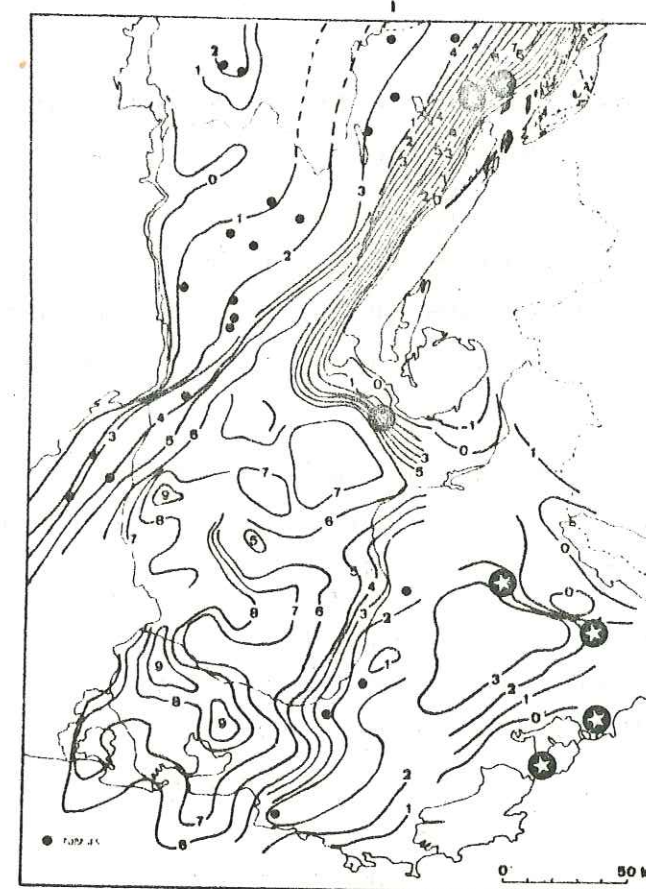


Fig. 67

Profondeur (en km) du socle antétriasique dans le Sud-Est de la France. Les points indiquent les forages ayant atteint la base du Trias



fournir l'explication de cette surépaisseur de croûte. Cette interprétation tient compte également d'une déformation interne du socle et du découpage de celui-ci en deux niveaux sur une surface située à 10-12 km de profondeur".

Nous pourrions remarquer que le volcanisme que nous étudions s'est toujours manifesté entre les zones de socles à comportement différent.

Le volcanisme Liguro-Provençal s'est manifesté entre le socle externe de l'Argentera (profond) et celui des Maures-Estérel (superficiel). Celui des chaînes sub-alpines méridionales, entre ces deux mêmes massifs.

Il en est de même pour les provinces septentrionales comme le montre le profil ALP 75 établi entre les Bauges et le Massif du Mont-Blanc.

Nous avons reproduit, à titre de documentation, les cartes isobathes de la discontinuité de Mohorovicic (Fig.66) et les isobathes du socle anté-triasique dans le Sud-Est de la France (Fig.67).

Nous avons reporté sur ces cartes les points d'affleurement du volcanisme paléogène.

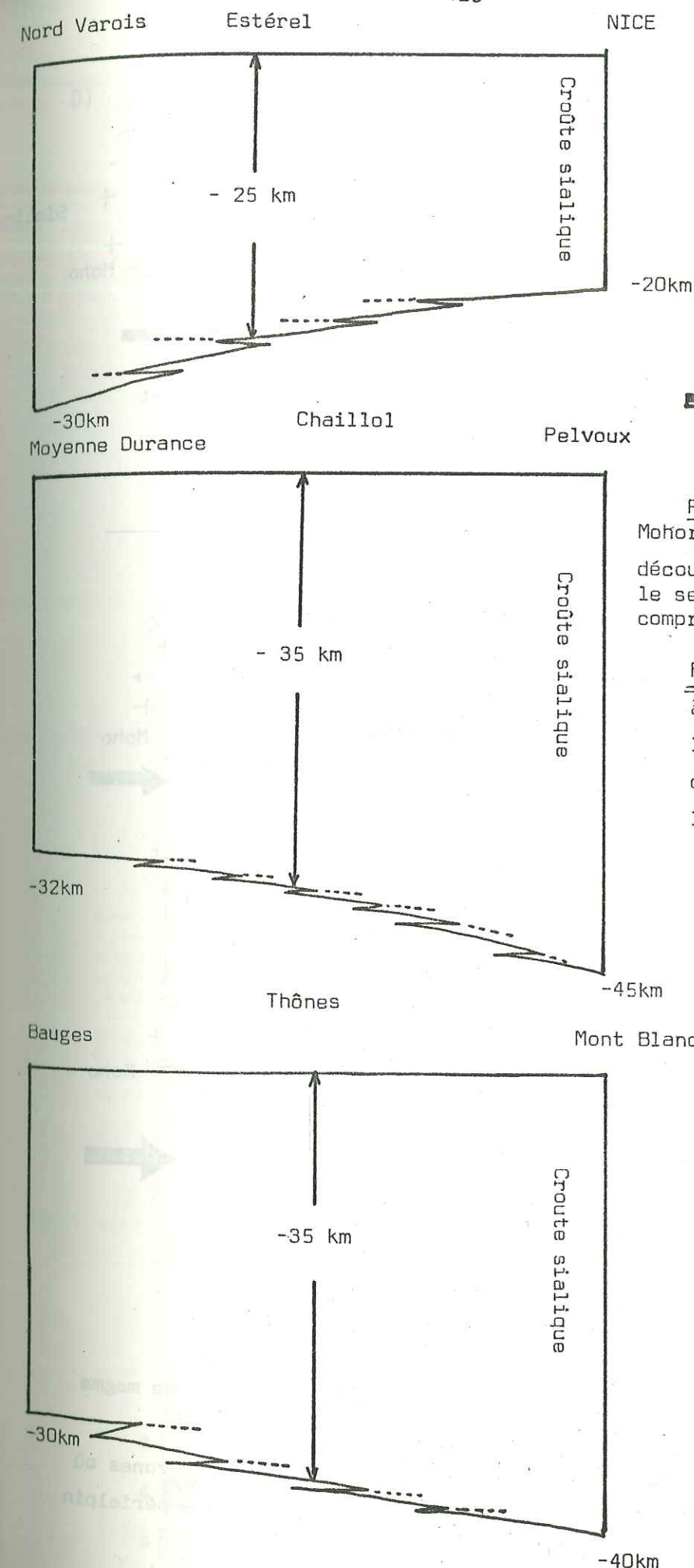
### 3-2) Conclusions : ébauche d'un modèle de mise en place du volcanisme.

S'il est indéniable que la topographie profonde du Moho a changé depuis la période Eocène-Oligocène, on peut néanmoins supposer qu'il a toujours plongé vers l'Est sous les massifs externes septentrionaux (Mont-Blanc, Belledonne, Pelvoux) et vers l'Ouest dans les zones plus méridionales (Argentera - Mercantour).

On peut donc penser que le volcanisme andésitique paléogène s'est toujours manifesté dans des zones à fort gradient de pente de la discontinuité et dans des contextes compressifs (Fig.68).

Des fragments de socle cristallin ont pu être enfoncés dans le manteau supérieur lors de ces phénomènes de compression et subir, localement des fusions susceptibles d'intervenir dans la formation des magma andésitiques dont l'ascension en surface a été facilitée par les écaillages (J-D. Giraud et coll. 1981). La Figure 69 montre un schéma interprétatif de l'évolution tectonique de la zone où s'est manifesté le volcanisme calco-alcalin paléogène du pourtour alpin occidental. Ce modèle permet d'envisager la mise en place du magma dans un contexte compressif.

Nous ne pourrions tenter une approche interprétative globale à l'échelle de la chaîne toute entière qu'au terme de l'étude pétrologique, minéralogique et géochimique.





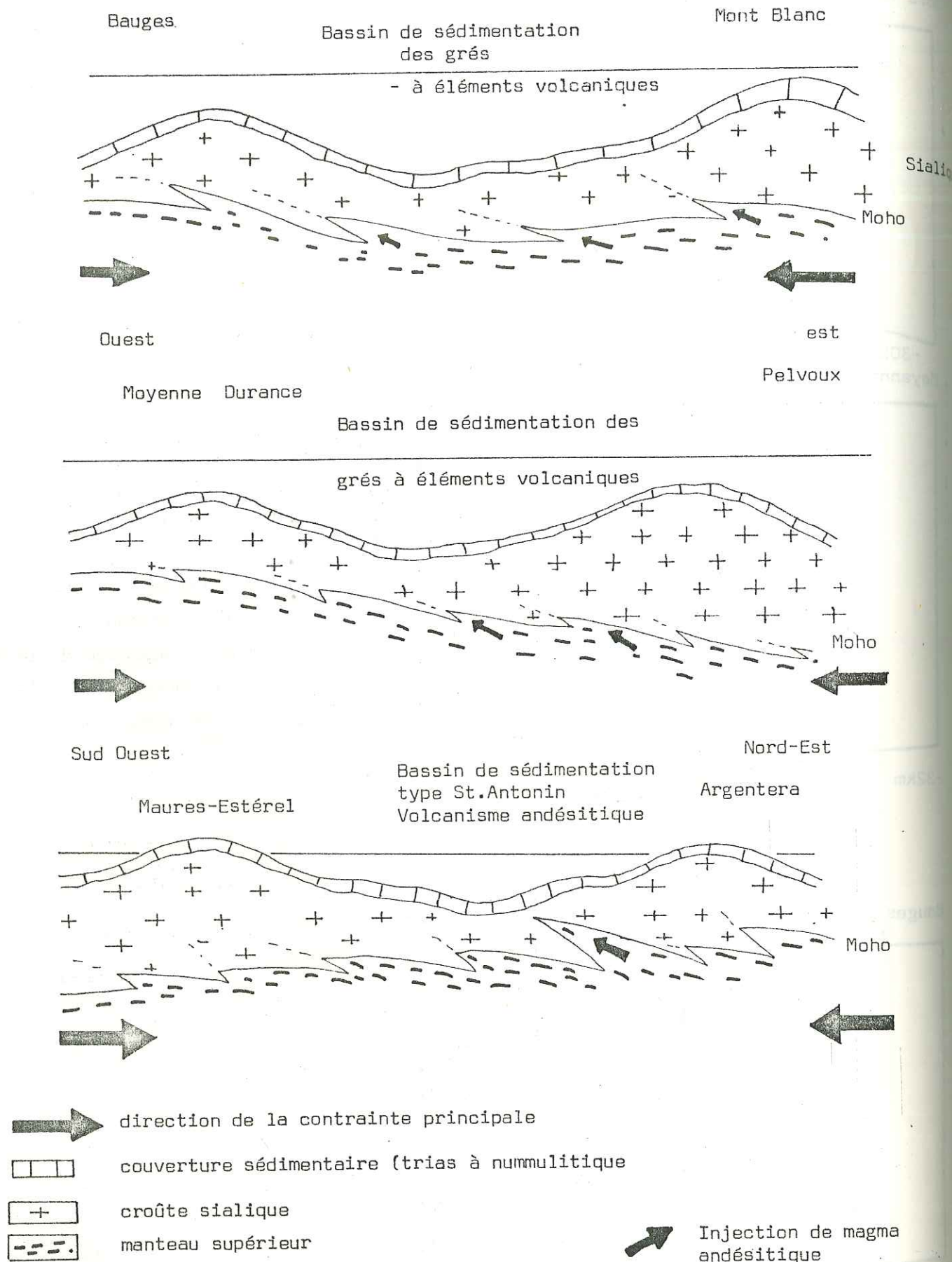


Fig. 69 : Schéma interprétatif de l'évolution tectonique des zones où s'est manifesté le volcanisme andésitique paléogène péréalpin (échelles non respectées)

D) COMPARAISON ENTRE LE VOLCANISME DES CHAINES SUB-ALPINES ET CELUI, D'AGE VOISIN, CONNU EN MEDITERRANEE OCCIDENTALE.

(Exemple de la Sardaigne et problème de la Corse et du Piémont).

Nous ne ferons, dans ce paragraphe, que présenter trois provinces volcaniques d'âge comparable à celles que nous venons de décrire. Il s'agit de la Sardaigne, de la Corse et du Piémont.

1°) Le volcanisme calco-alcalin andésitique de Sardaigne. (Fig. 70).

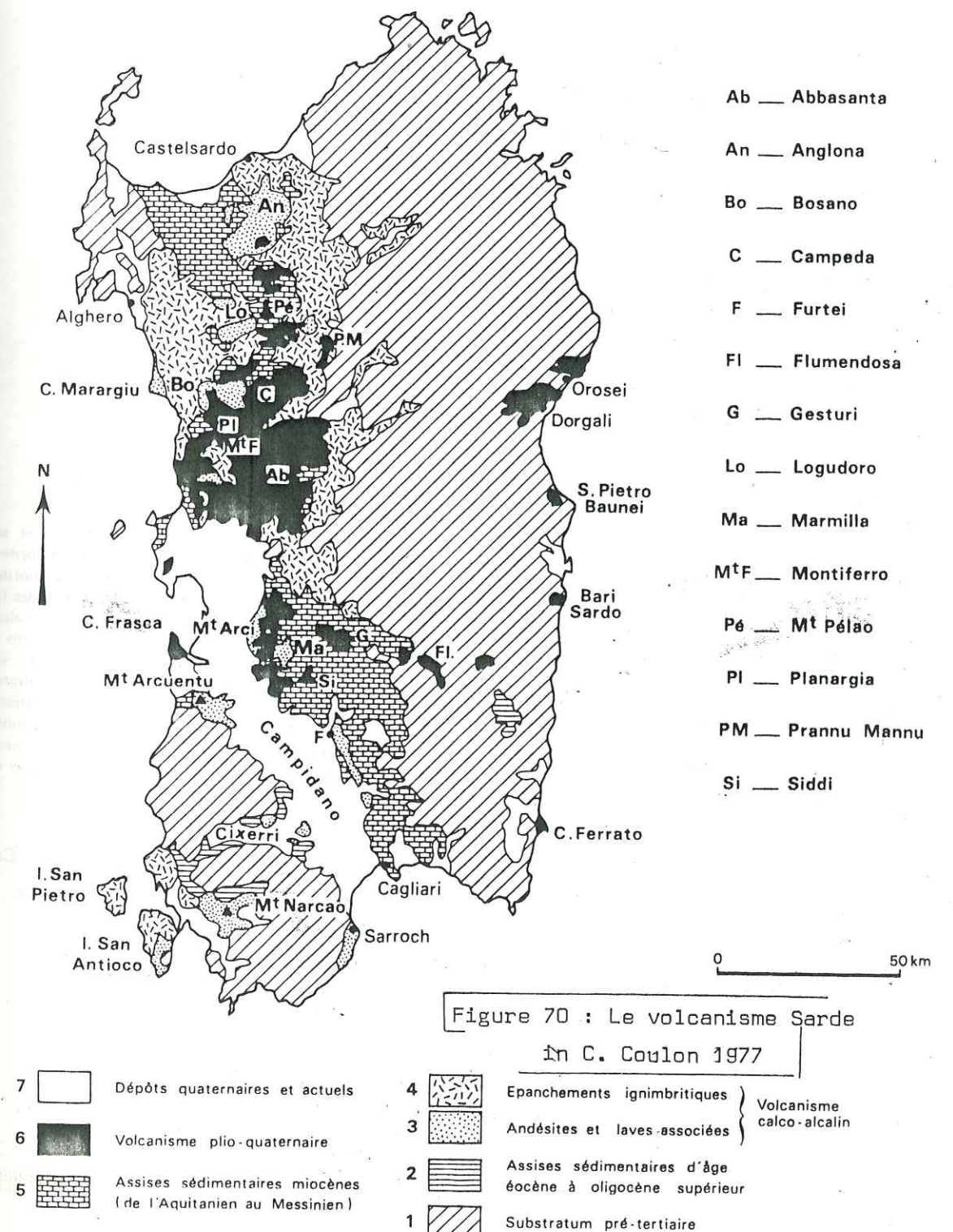
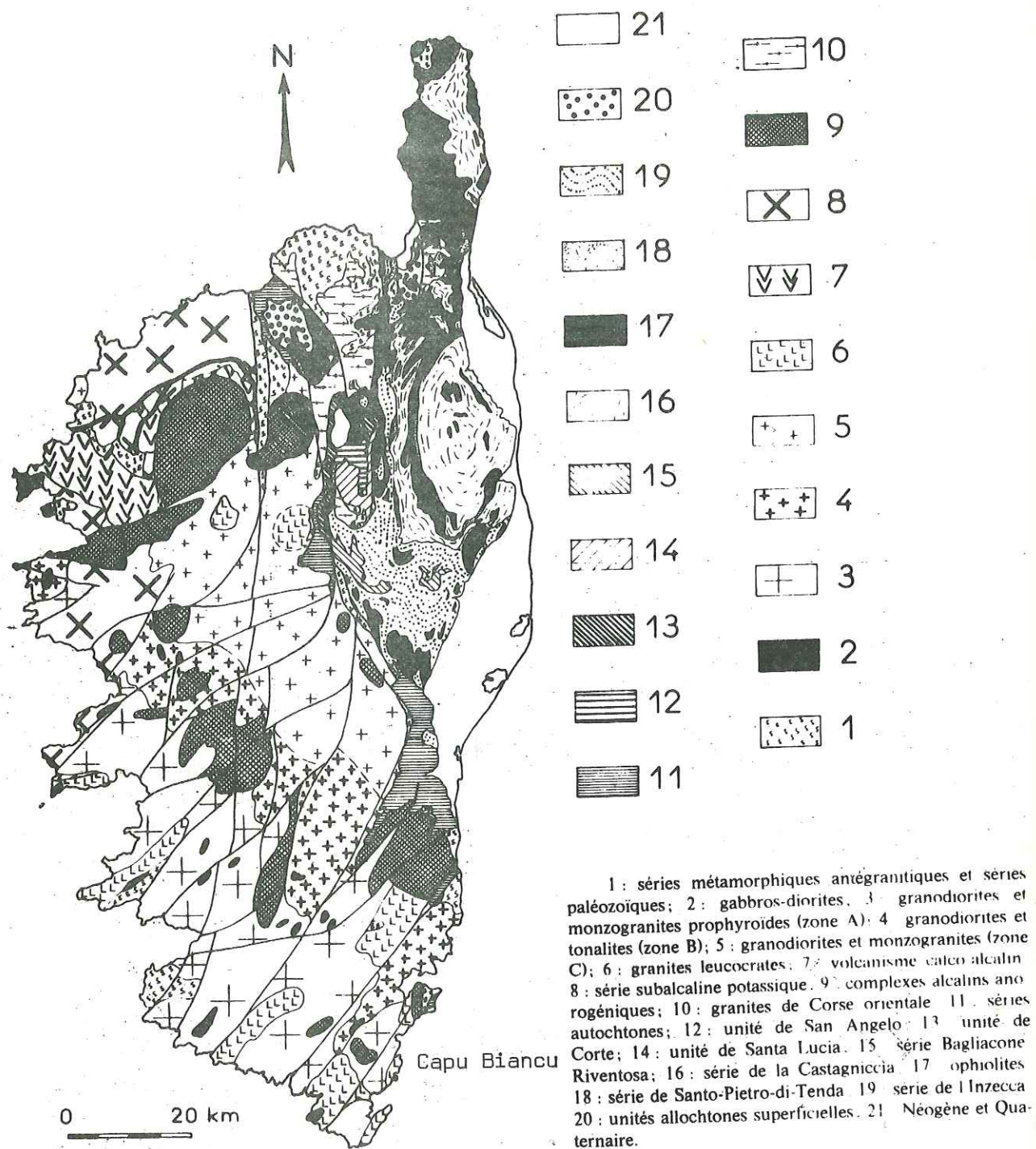


Figure 70 : Le volcanisme Sarde  
in C. Coulon 1977





**Figure 71 :** Situation géologique des formations volcaniques de Capu Biancu (Carte géologique de la Corse, In France du Sud-Est 26ème C.G.I. Paris, 1980)

Les laves calco-alcalines de Sardaigne, si l'on se réfère aux datations citées par C. Coulon (H. Bellon, 1976), se sont épanchées entre 20 et 17 Millions d'années. Des âges plus anciens, obtenus par H. Bellon (J-D. Giraud et coll., 1978) sur les microdiorites quartziques d'Alghero qui s'apparentent aux andésites du secteur de Narcao (H. Bellon, 1976). Les microdiorites quartziques d'Alghero peuvent être considérées, vis-à-vis du volcanisme calco-alcalin sarde comme des estérellites du massif de l'Estérel vis-à-vis des andésites de la Province Liguro-Provençale (J-D. Giraud et coll., 1978).

## 2°) La Corse (Fig.71).

Il existe, dans le secteur de Bonifacio (Capu Biancu) une formation recouverte en discordance par les formations miocènes du golfe de Santa Manza. Décrit pour la première fois par F. Orzsag (1978) ce tuf volcanique a été daté  $17,8 \pm 1,5$  M.A. par H. Bellon (1976).

Il s'agit d'une formation (que nous décrirons dans le chapitre consacré à la Pétrographie) dont aucun équivalent n'a encore été découvert en Corse.

Les points de sortie ne sont pas connus, mais ces tufs affleurent dans un secteur où les phénomènes en extension (fossés Eo-Oligocènes de Picco-vaggia et Favona) ont été décrits (B. Bonin, 1980), J-D. Giraud et coll. (1978-1982 inédits). Le volcanisme de Capu Biancu pourrait s'être manifesté à la faveur de l'ouverture de ces fossés. L'âge obtenu par H. Bellon (1976) paraît certes un peu récent mais le caractère très altéré de la formation compromet légèrement la datation absolue. Un âge Oligocène paraît plus probable en raison de la position stratigraphique des tufs sous le Miocène de Bonifacio.

**REMARQUE :** Il existe, en Corse, d'autres manifestations magmatiques, nettement intrusives dans les unités alpines du Cap Corse (lamprophyre de Sisco). L'âge radiométrique de 15 M.A. donné par H. Bellon (1976) paraît compatible avec les données de terrain. Il s'agit donc d'un volcanisme différent de celui du Capu Biancu (comme le confirme, d'ailleurs, la différence de pétrographie entre les deux formations).



## 3°) Les manifestations volcaniques de la province de Biella (Piémont)

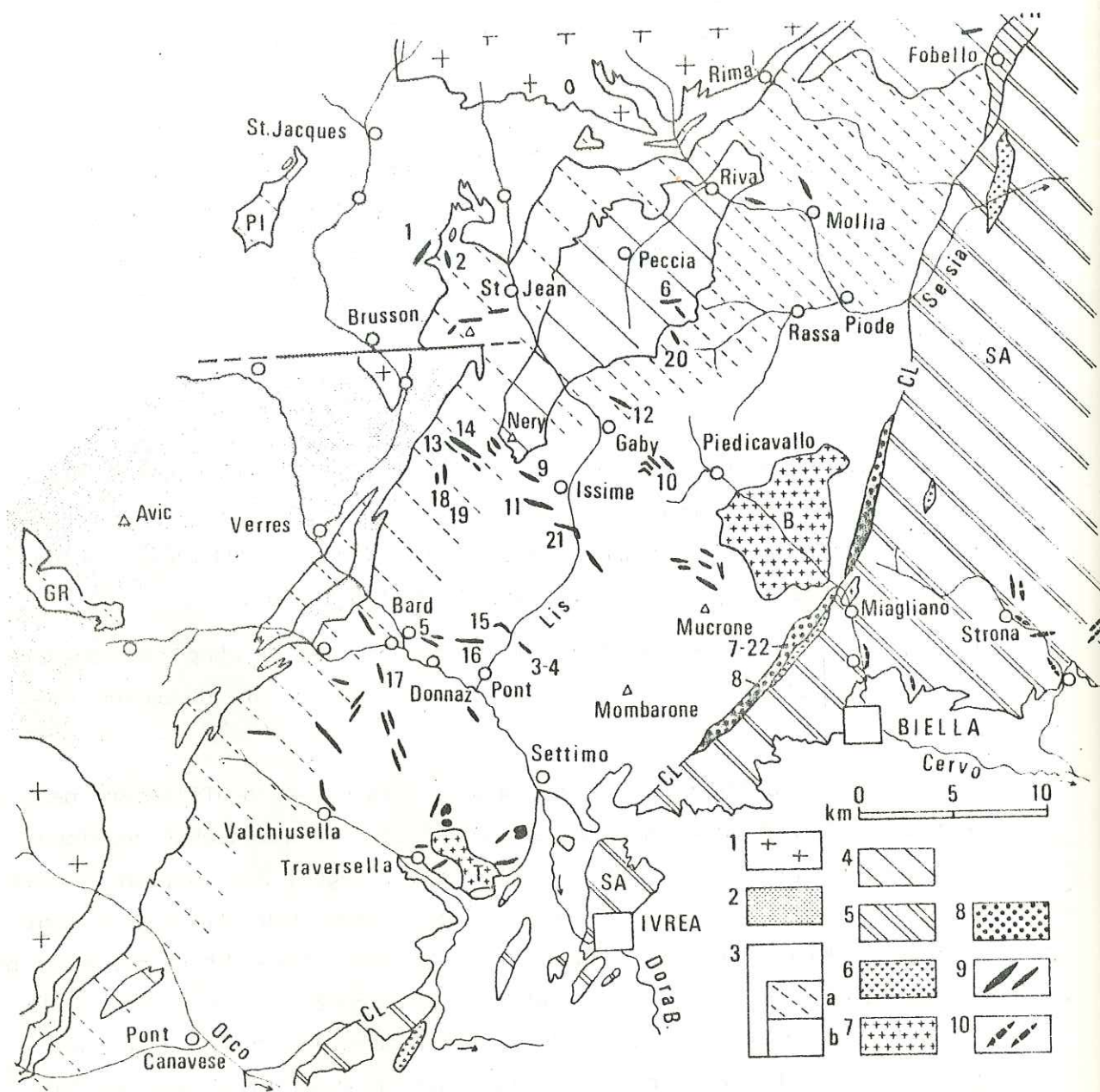


FIG. 72 Geologic sketch map of the internal Northwestern Alps. (in G. Dal Piaz 1979)

(a) Tectonic units and lithologies: 1) Pennine Monte Rosa, Arcese-Brusson and Gran Paradiso nappe; 2) Piemonte ophiolite nappe, undifferentiated; 3) Austroalpine Sesia-Lanzo composite nappe, including: a - Gneiss Minuti complex; b - Micascisti Eclotitici complex (a+b: lower tectonic element); internal klippen of the Dent Blanche nappe: Pillonet (P) and Glacier-Rafay (GR); 4) upper tectonic element of the Sesia-Lanzo nappe, i.e. II Diorito-kinzigitica zone; FR: Fobello-Rimella complex; 5) Undifferentiated Southern Alps, including the Ivrea zone; 6) Peridotite and serpentinite bodies of the Southalpine continental mantle + peridotite-gabbro layered complexes.

(b) Igneous rocks: 7) Oligocene intrusives of Biella (B), Traversella (T) and Miagliano; 8) Oligocene volcano-sedimentary cover of the internal Sesia-Lanzo nappe; 9) Oligocene K-rich lamprophyre and andesite dykes lato sensu occurring externally of the Canavese line (CL); 10) dykes of the Southern Alps, internally of the Canavese line; they cut cross the Hercynian crystalline basement or its Mesozoic sedimentary cover.

(c) Location of the analysed samples: (1) MRO 1627: North of Colle Pallasina, near Champoluc, Ayas valley; (2) MRO 1698: East of Colle Pallasina; (3) MEC 242: Rio Rechantaz, near the pressure water pipe, left side of the lower Gressoney valley; (4) MEC 243: idem; (5) MEC 246: Plan d'Albard, Bard, Aosta valley; (6) CB 96: Alpe Plana Bella, Artogna valley; (7) KAW 697 b: Favaro, Oropa valley, Biella; (8) KAW 1064: Falletti, Northwest of Biella; (9) MEC 216: Stolen valley, Issime, Gressoney valley; (10) MEC 241: Lago della Vecchia, upper Cervo valley; (11) KAW 1433: road Issime-Santa Margherita, Gressoney valley; (12) MEC 214: Gaby-Niel, Gressoney valley; (13) MEC 239: Alpe Pera Piccola, upper Chasten valley, Ayas valley; (14) MEC 240: idem; (15) MEC 246: below Marine, right side of the lower Gressoney valley; (16) MEC 251: Niou mine, Perloz-Beuby, North of Pont St. Martin, Aosta valley; (17) MEC 319: Vallone di Tessa, right side of the lower Champorcher valley; (18) MRO 1710: Northeast of Alpe Chamaley, Becca Torchè, Ayas valley; (19) MRO 1729: idem; (20) CB 118: West of Becco Cossarello, high Artogna valley, Valsesia; (21) KAW 695: South of the Issime dam, Gressoney valley; (22) idem of point 7. Samples 1 and 6 respectively occur within the Combin unit of the Piemonte ophiolite nappe and in the II Diorito-kinzigitica zone; others outcrop in the lower tectonic element of the Sesia-Lanzo nappe as dykes or volcano-sedimentary cover (7, 8, 22). Samples 1 to 5 are K-rich lamprophyres; sample 6 is intermediate between lamprophyres and andesitic rocks. Other samples correspond to andesite dykes lato sensu, including high-K calcalkaline and shoshonite-like clans.



## CHAPITRE (III)

### A) PETROGRAPHIE DES MANIFESTATIONS VOLCANIQUES PALEOGENES DU DOMAINE PERI-ALPIN OCCIDENTAL

#### A 1) LA PROVINCE LIGURO-PROVENÇALE

- A 1-1) Les manifestations pyroclastiques ou épigénétiques
- A 1-2) Les manifestations effusives ou subvolcaniques
- A 1-3) Les enclaves homoéogènes
- A 1-4) Les formations pneumatolytiques et hydrothermales

#### A 2) LA PROVINCE SUB-ALPINE MERIDIONALE

##### A 2-1) Le synclinal de Saint-Antonin

2-1a) Les pyroclastites

2-1b) Les laves

##### A 2-2) Le synclinal de Barrême

2-2a) Les galets andésitiques  
du conglomérat de Clumane

2-2b) Le grauwacke de l'Aubre

#### A 3) LA PROVINCE DU CHAMPSAUR

##### A 3-1) Le problème du métamorphisme alpin (albitisation)

##### A 3-2) Les mélanges sédiment-lave

##### A 3-3) Les microbrèches

##### A 3-4) Les tuffisites

#### A 4) LA PROVINCE HELVETICO-SAVOYARDE

##### A 4-1) Les grès riches en matériel volcanique

##### A 4-2) Les tuffites à ejecta volcaniques

##### A 4-3) Tuffisites et sandstone dykes

##### A 4-4) Les laves

#### A 5) SIGNIFICATION DE LA DIVERSITE DES ROCHES RENCONTREES

##### A 5-1) Caractérisation pétrographique dans la classification de A. Streckeisen - K.W. Wedepohl

##### A 5-2) Analogies et différences entre provinces

#### A 6) CONCLUSION A L'ETUDE PETROGRAPHIQUE



**B) MINERALOGIE DES ROCHES VOLCANIQUES PALEOGENES  
DU DOMAINE PERI-ALPIN OCCIDENTAL**

- B 1) LES PROVINCES MERIDIONALES (Province Liguro-Provençale  
et sub-alpine méridionale)
- B 2) LES PROVINCES SEPTENTRIONALES (Province du Champsaur et  
Helvético-Savoyarde)
- B 3) ANALOGIES ET DIFFERENCES ENTRE PROVINCES

**C) DONNEES NOUVELLES SUR LES ROCHES VOLCANIQUES  
APPARENTEES AUX MANIFESTATIONS PALEOGENES  
DES ALPES OCCIDENTALES (Minéralogie et Pétrographie).**

- C 1) LES PORPHYRITES D'ALGHERO (Sardaigne)
- C 2) L'IGNIMBRITE DE CAPU BIANCU (Corse)
- C 3) LES ANDESITES  
DES ALPES PIEMONTAISES

**D) CONCLUSION CONCERNANT L'ETUDE  
PETROGRAPHIQUE ET MINERALOGIQUE**

-----

Remarque préliminaire : Les roches correspondant aux principaux types pétrographiques retenus pour la caractérisation des provinces seront présentées sous forme de figures en fiches pétrographiques afin d'éviter un développement inutile du texte descriptif.

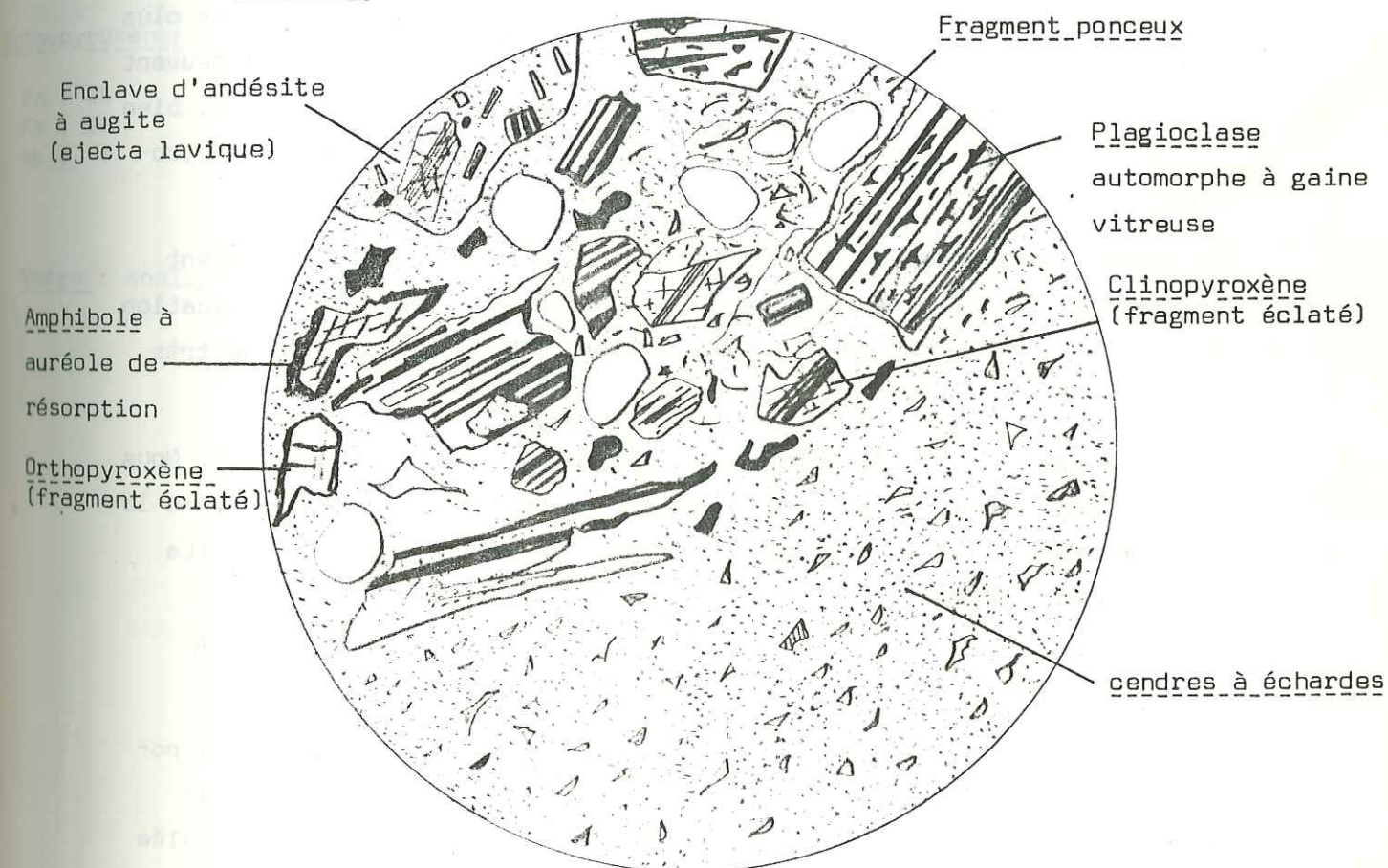
Les paramètres Q,A,P de A. STRECKEISEN (modifiés K.H. WEDE-POHL), l'indice de solidification (S.I. de H. KUNO), l'indice de différenciation (C.P. THORNTON et O.F. TUTTLE) ont été choisis pour caractériser les roches pour lesquelles sont, en outre, indiquées quelques teneurs en éléments majeurs caractéristiques. Les principales espèces minérales, dont l'étude sera l'objet d'un paragraphe spécial, sont mentionnées.

Microséquence cinéritique : alternance de cendres grossières à lapilli cristallins et de cendres fines argilisées à échantons de verre

Localité de prélèvement : La Vanade (Villeneuve Loubet) Ech.P.L.21

analyse de la séquence fine : N° 147

Figure 73 x 25





# A) PETROGRAPHIE DES MANIFESTATIONS VOLCANIQUES PALEOGENES DU DOMAINE PERI-ALPIN OCCIDENTAL.

## A 1) LA PROVINCE LIGURO-PROVENÇALE.

### A 1-1) Les manifestations pyroclastiques et épigénétiques.

#### 1-1a) Les cinérites.

Il s'agit de roches à structure très fine constituées de fragments vitreux le plus souvent compactés et dévitrifiés associés à des cristaux automorphes éclatés possédant des gaines vitreuses. Entre les différents épanchements cinéritiques s'intercalent fréquemment des niveaux riches en cristaux parfaitement automorphes (plagioclases le plus souvent) emballés dans une matrice cinéritique. Ces cristaux, qui peuvent atteindre 2 à 3mm de longueur, sont des "crystal lapilli" comparables, bien que de taille plus modeste, aux feldspaths de l'Erebus ou aux clinopyroxènes de Stromboli (R. Clocchiati, S. Wilhem, comm. orale, 1978).

Ces cinérites renferment souvent des scories ou des ponce et montrent fréquemment, à la partie supérieure des bancs, des figures de dessiccation (mud-cracks) indiquant une mise en place en milieu sub-aérien sous très faible tranche d'eau.

Au microscope (Fig.73) la structure cinéritique est caractéristique. Nous n'avons jamais observé dans ces roches d'indices d'un remaniement même local. Localement s'observent quelques traces de végétaux carbonisés (La Vanade, piste Spada).

#### 1-1b) Les scories et les andésites semi-vésiculées.

Elles sont invariablement associées aux cinérites, notamment dans les carrières de La Vanade où elles peuvent atteindre la taille de 30cm. Ces éléments montrent une structure totalement vésiculée (scories) ou moyennement vésiculée (andésite semi-vésiculée). Si l'on se réfère à la nomenclature de J.V. Wright (1980) ces formations correspondent à un mode éruptif intermédiaire entre le Type Péléen (Block and ash) et le type Saint-Vincent (Scoria and ash) et rappellent une dynamique de type Asama.

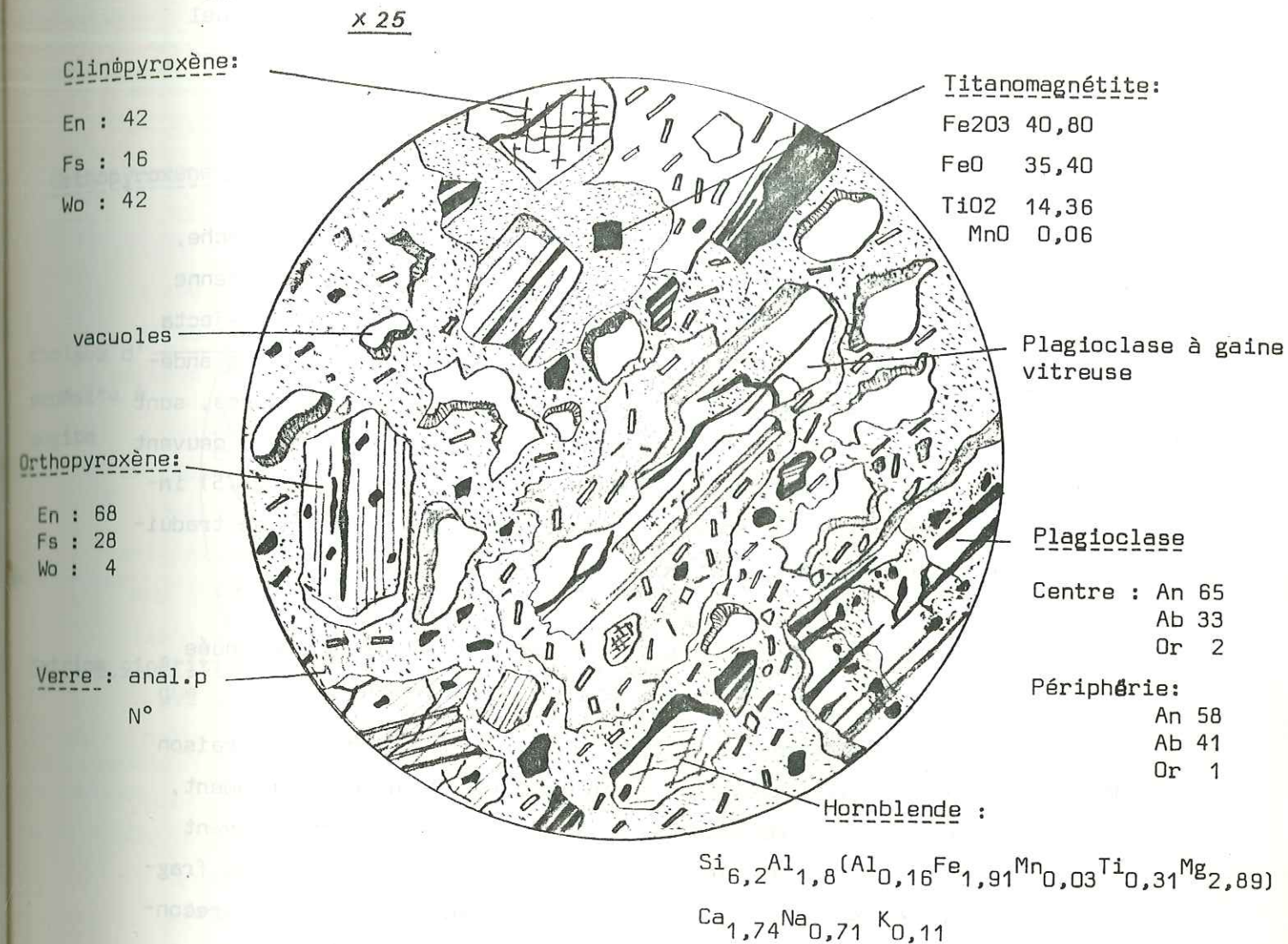
## Pyroclastite andésitique

Localité de prélèvement: autoroute A8(bretelle bouches du Loup )

Figure 74

Ech.: P.L.300

Analyse: N° 142



Architecture: pyroclastique soudée

SiO<sub>2</sub> = 49,70

MgO = 3,02

Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O = 3,50



Au microscope, les scories et andésites semi-vésiculées se caractérisent par l'abondance du verre juvénile, riche en microlites et dans lequel baignent des cristaux automorphes très souvent éclatés de plagioclase, clinopyroxène, amphibole et minéraux opaques (Fig.74).

#### 1-1c) Les tufs.

Il s'agit de roches à texture pyroclastique franche, renfermant essentiellement des cendres, des fragments de lave ancienne (lithics) et des ejecta vitreux (verre volcanique juvénile). Les ejecta stratifiés sont abondants et constitués exclusivement de fragments andésitiques anguleux emballés dans des cendres. Les ponces, plus rares, sont invariablement argilisées. Les tufs, généralement mal consolidés, peuvent localement montrer des indices de soudure (La Vanade, Biot) (Fig.75) indiquant des températures de mise en place relativement élevées se traduisant par des rubéfactiones au niveau des blocs anciens de lave.

#### 1-1d) Les brèches de nuée ardente : "Block and ash nuée ardente".

Longtemps considérées comme des conglomérats en raison de l'arrondi de certains éléments de lave inclus, elles correspondent, en fait, à un mélange de matériel tuffacé et de blocs de lave pouvant atteindre des tailles de plusieurs mètres. Ces blocs sont soit des fragments d'anciens édifices éruptifs démantelés (aiguilles ou dômes) reconnaissables par l'existence de stries de glissement ou de prismation, soit des morceaux de lave encore visqueuse. Dans ce dernier cas les blocs acquièrent, lors de l'impact au sol, une forme caractéristique.

Dès qu'un bloc anguleux se trouve dégagé par l'érosion il se délite en raison de son caractère généralement très fracturé. En son centre apparaît généralement une zone sphérique qui donnera l'apparence d'un élément roulé à la partie restante du bloc.

Au microscope, la matrice tuffacée des brèches renferme en grande quantité des fragments de verre andésitique vésiculé. Les vacuoles présentent des formes variées mais elles sont le plus souvent ovoïdes. La structure et l'assemblage minéralogique visibles au microscope évoquent les descriptions de R.V. Fisher et coll.(1982) sur les tufs de la Montagne Pelée (Fig.73) décrits auparavant par A. Lacroix (1904).

Pyroclastite andésitique

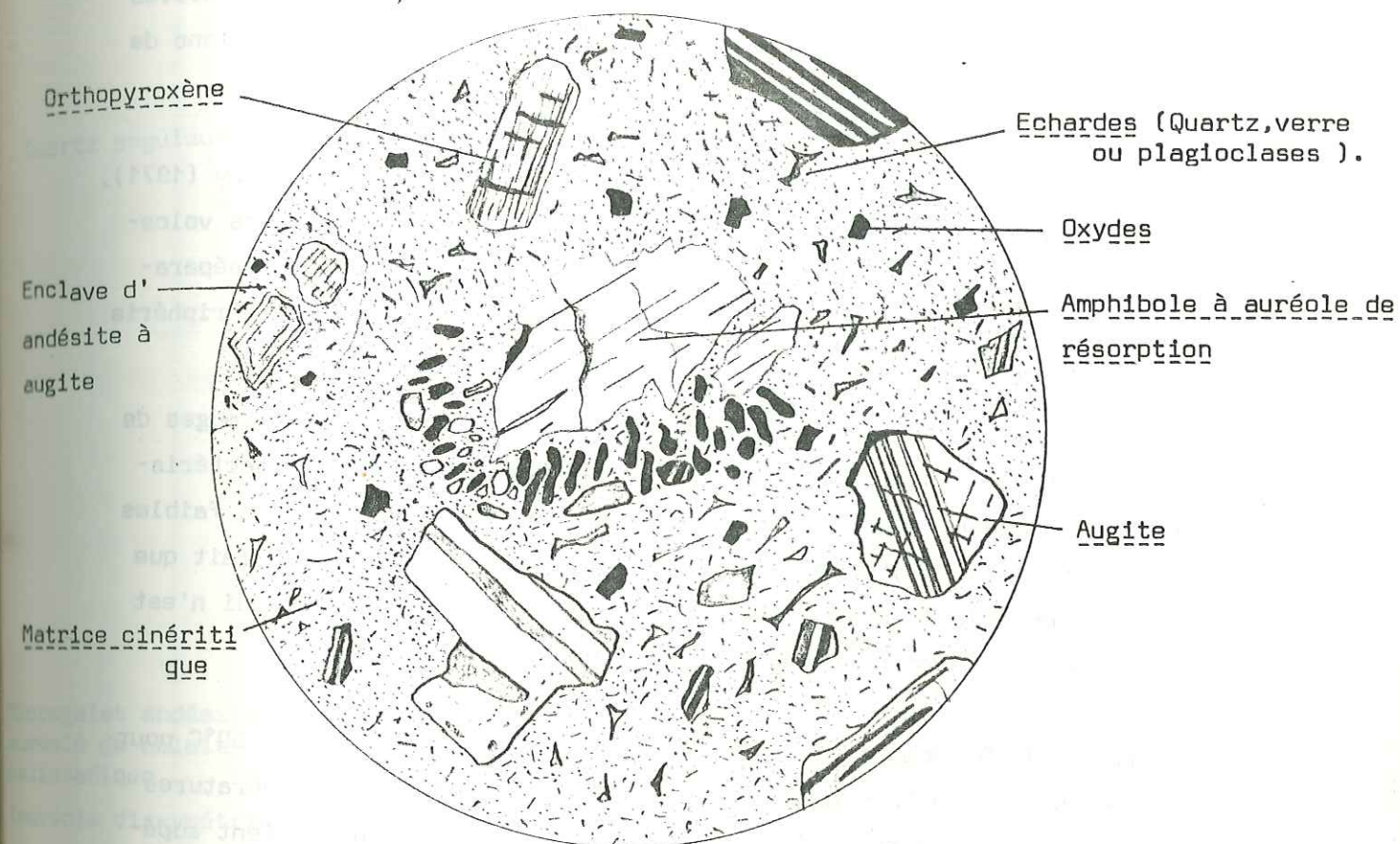
Localité de prélèvement (Biot)

Ech.: P.L. 73

Analyse N° 132

Figure 75

X25



Architecture : pyroclastique soudée

SiO<sub>2</sub> : 53,90

MgO : 2,80

Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O = 3,83



Les brèches de nuée ardente du secteur de Biot renferment, en abondance, des fragments de bois carbonisé. Nous avons appliqué à un échantillon prélevé au Terme Blanc la méthode de R.C. Maury (1971) d'évaluation des températures de mise en place des pyroclastites par spectrométrie Infra-Rouge des fragments de bois carbonisé. La température obtenue est élevée (environ 400°C sur un bois prélevé dans la nuée ardente du Terme Blanc de Biot).

REMARQUE : Afin de préciser les limites de la méthode de R.C. Maury (1971), nous avons analysé des fragments de bois prélevés dans des coulées volcaniques basaltiques (voir Tableau 3). La méthode a un bon pouvoir séparateur : les températures diffèrent selon que l'on se trouve à la périphérie ou au centre d'un tronc entouré par la lave.

De même, il est intéressant de constater que les spectres infra-rouges de bois incendié à l'air libre (Corse : incendie de 1981) sont caractéristiques et indiquent des températures de dégradation beaucoup plus faibles que dans le cas des pyroclastites. Ceci est dû, apparemment, au fait que lors d'un incendie la combustion se fait en présence d'air, ce qui n'est pas le cas dans un épanchement pyroclastique.

R.C. Maury (1976) donnait des températures de l'ordre de 350 à 400°C pour la carbonisation de bois prélevés à la Montagne Pelée. Les températures attribuées par A. Lacroix (1904) pour ces mêmes formations étaient supérieures. La température de 450°C correspond à l'inflammation du bois dans un courant d'air chaud. En l'absence d'air chaud, la température est sous-estimée.

#### 1-1e) Les lahars.

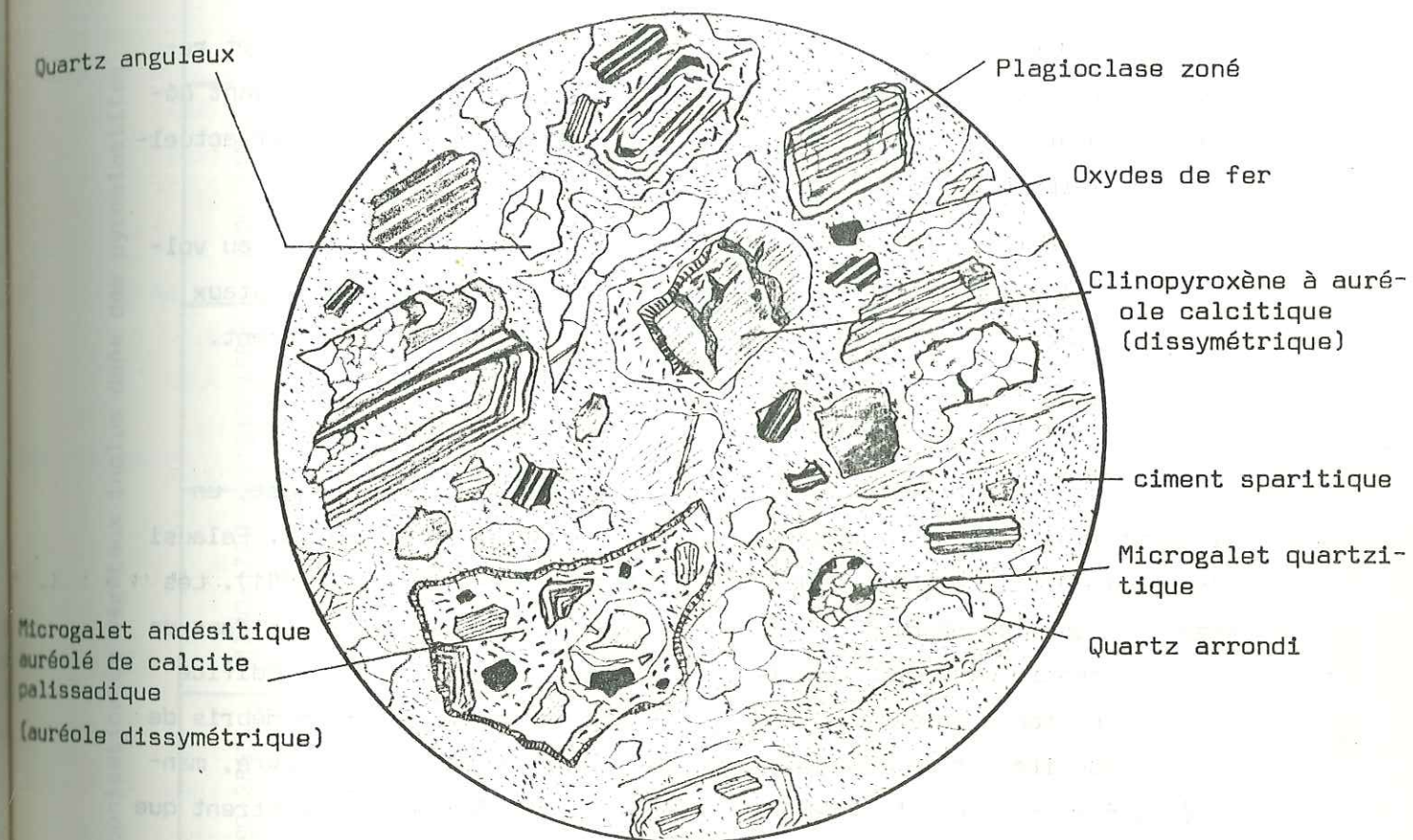
Il s'agit, contrairement aux formations précédentes, de roches hétérogènes et polygéniques. Ces caractères sont dus au mélange entre le matériel volcanique et d'autres éléments, généralement détritiques arrachés au substratum par les coulées boueuses à fort pouvoir ravinant.

L'affleurement de la Villa Maure (district de Saint-Vallier, cf. Chapitre II) montre un faciès caractéristique de ce genre de formation.

Grauwacke andésitique  
Niveau inférieur des formations volcaniques pyroclastiques (contact avec le calcaire nummulitique) Localité de prélèvement: BIOT  
Ech.P.L.(x)

x 25

Figure 76





Sur le terrain, la coulée boueuse se présente comme une masse chaotique où les blocs de lave (le plus souvent arrondis) de grande taille voisinent avec des galets et des blocs de calcaires du Jurassique ou du Nummulitique. Le tout est enrobé par un ciment riche en feldspath, fragments de quartz et argiles. Le lahar de la Villa Maure a récemment été étudié par C. Ghristi (1982).

Des formations analogues affleurent dans le secteur de Cap d'Ail et représentent, vraisemblablement, d'anciennes avalanches boueuses ayant dévalé les pentes du strato-volcan dont le centre devrait se trouver actuellement immergé plus au Sud de l'actuel littoral.

Au microscope (Fig.76), on note la présence d'éléments étrangers au volcanisme et les fragments volcaniques se trouvent à l'état de cristaux cassés, souvent arrondis et abrasés. Le verre volcanique est absent.

#### 1-1f) Les grauweekes et les paléosols volcaniques.

Il existe, dans le secteur de Villeneuve-Loubet, un gisement important de bois silicifié. Anciennement décrit par J. Palausi (1973), il a fait l'objet d'une étude récente par P. Rostan (1981). Les végétaux fossiles de Biot - Villeneuve-Loubet ont été silicifiés dans un milieu lacustre occupant, semble-t-il, la partie centrale d'un édifice éruptif. La roche encaissante de ces troncs est formée de fins débris de tuf, d'andésites et montre des caractères très minéralisés (cuivre, manganèse, fer, silice). Les reconstitutions paléogéographiques montrent que ce type de dépôt est sub-aérien. Il existe, en outre, très fréquemment (voir coupe, Fig.14) des niveaux de remaniement sédimentaire entre les différentes manifestations explosives. Ces niveaux ont les caractères de conglomérats andésitiques ou de grauweekes.

REMARQUE : Les bois silicifiés de Villeneuve-Loubet ont une toute autre signification que les bois carbonisés que l'on trouve dans les nuées ardentes. Ils correspondent à des arbres arrachés par le souffle des éruptions et sédimentés à proximité d'une ligne de rivage. Ils sont rarement teintés en noir comme les bois prélevés dans les nuées ardentes et qui ont fait l'objet de mesures infra-rouges en vue de déterminer la température de mise en place des pyroclastites.

Tableau 3 : Paléotempératures de carbonisation de végétaux inclus dans des pyroclastites

Bande d'absorption	Liaison	3450-3300	2960-2850	1760-1720	1610-1580	1520-1490	1480-1350	1260-1200	Température estimée
		O-H	C-H	C=O	C=C	C=C	C-H	C-O-C	
Bois emballé dans la coulée de 1971 (Etna)		e	0	0	0	0	0	0	sup. 500°
Bois atteint par le bord de coulée (1971 Etna)		f	0	0	f	0	0	0	500°
- Coeur de tronc		f	f	f	e	e	0	0	250-300°
- Intermédiaire		e	f	e	e	0	0	0	300-350°
- Périphérie		e	e	e	e	0	0	0	sup. 350°
- (Etna 1971)									
Bois fossile, flysch (Peira Cava)		f	f	f	f	0	e	0	250-300°
Bois incendié (Corse 1981)		e	e	f	F	e	e	0	250-300°
Dépôt de nuée (+) ardente (Martinique)		e	0	e	f	0	0	0	400°
Base de nappe de Ponce (Cantal)(+)		f	f	F	F	e	0	0	200-250°
Bois incarboné (Biot Terme Blanc)		e	0	0	e	0	0	0	350-400°

(+) In R.C. Maury 1971)

e : absorption très faible  
f : absorption faible

F : absorption moyenne à forte  
0 : absorption nulle



## A 1-2) Les manifestations effusives ou subvolcaniques.

Les laves que nous allons décrire ont une structure micro-litique très porphyrique. L'abondance du plagioclase à l'état de phénocristaux oblige à poser d'emblée le problème des cumulats feldspathiques dans les andésites.

### REMARQUE PRELIMINAIRE :

La notion de cumulat fait intervenir un processus physique (la gravité) qui provoque la concentration de minéraux lourds ou légers. Le résultat en est la formation de roches enrichies en minéraux mafiques ou en minéraux légers (cumulats feldspathiques). L.R. Wager et coll. (1960) ont décrit les différents types de cumulats dans les roches endogènes, en précisant les structures pétrographiques. En 1967, L.R. Wager et G.M. Brown décrivent plus particulièrement les cumulats plagioclasiques formés à partir d'un magma gabbroïque. En 1979, Ch. Lefèvre décrit, dans la série calco-alcaline du Sud Péruvien des andésites très porphyriques contenant plus de 50% de phénocristaux de plagioclase sous le nom de cumulats de plagioclase. En 1980, Ch. Coulon et R.C. Maury insistent sur l'importance des phénomènes cumulatifs dans le volcanisme d'arc insulaire illustré par l'exemple de la province de Tanna. Les roches volcaniques émises par le Yasur sont essentiellement des basaltes tholéitiques d'arc auxquels sont associées des andésites. Ces roches sont fortement porphyriques (jusqu'à 50% de phénocristaux) et les variations minéralogiques que l'on y observe ne reflètent pas celles des éléments majeurs. Les variations de la basicité du plagioclase, par exemple, sont incohérentes vis-à-vis de l'évolution du taux de silice. Nous retiendrons donc comme caractéristique d'un cumulat les incohérences observées entre la composition minéralogique et les caractères chimiques de la roche lorsque, bien sûr, le nombre des phénocristaux paraît trop important. L'étude géochimique systématique des verres volcaniques est nécessaire pour déceler certaines incompatibilités entre liquides magmatiques et paragenèses minéralogiques. Nous reviendrons, enfin, sur le problème des cumulats en montrant que l'étude des populations de zircon accessoire permet de tenter une approche d'évaluation du phénomène cumulatif.

## A 1-2-1) Les laves de la région niçoise.

Il s'agit de roches volcaniques à structure micro-litique très porphyrique.

Le constituant essentiel est le plagioclase que l'on trouve à l'état de phénocristaux, généralement zonés, et à l'état de microcristaux ou de microlites dans la mésostase. Les constituants mafiques sont l'olivine, le pyroxène (orthorhombique et monoclinique), l'amphibole, auxquels s'ajoutent les opaques ferro-titanés qui précipitent durant tous les stades du fractionnement. Les minéraux accessoires primaires sont essentiellement l'apatite, le grenat et le zircon.

Nous distinguerons, successivement, étant entendu que toutes ces roches contiennent des phénocristaux de plagioclase :

### 1-2-1a) Les andésites basiques (52 à 56% de silice) à Olivine et deux pyroxènes.

Roche type P.L.I Analyse N° 36 (Fig.77)

Elles sont peu fréquentes (environ 10% de l'ensemble des roches étudiées dans la province). La présence d'olivine est compatible avec des valeurs faibles de l'indice de différenciation (D.I. = 30 à 45) dans le système de THORNTON et TUTTLE (1960).

### 1-2-1b) Les andésites basiques à deux pyroxènes.

Roche type P.L. 805 Analyse N°24 (Fig.78)

Il s'agit de roches dont la mésostase est riche en verre volcanique et qui montrent les structures vacuolaires les mieux développées. Nous avons dénommé ces roches des andésites semi-vacuolées au sens de FISCHER (1982). On les observe au sein des épanchements cinéritiques et elles représentent, selon nous, les compositions les plus voisines des magmas parentaux des laves de la Province Liguro-Provençale.

### 1-2-1c) Les andésites basiques à deux pyroxènes et hornblende.

Roche type P.L. 20 Analyse N° 27 (Fig.79)

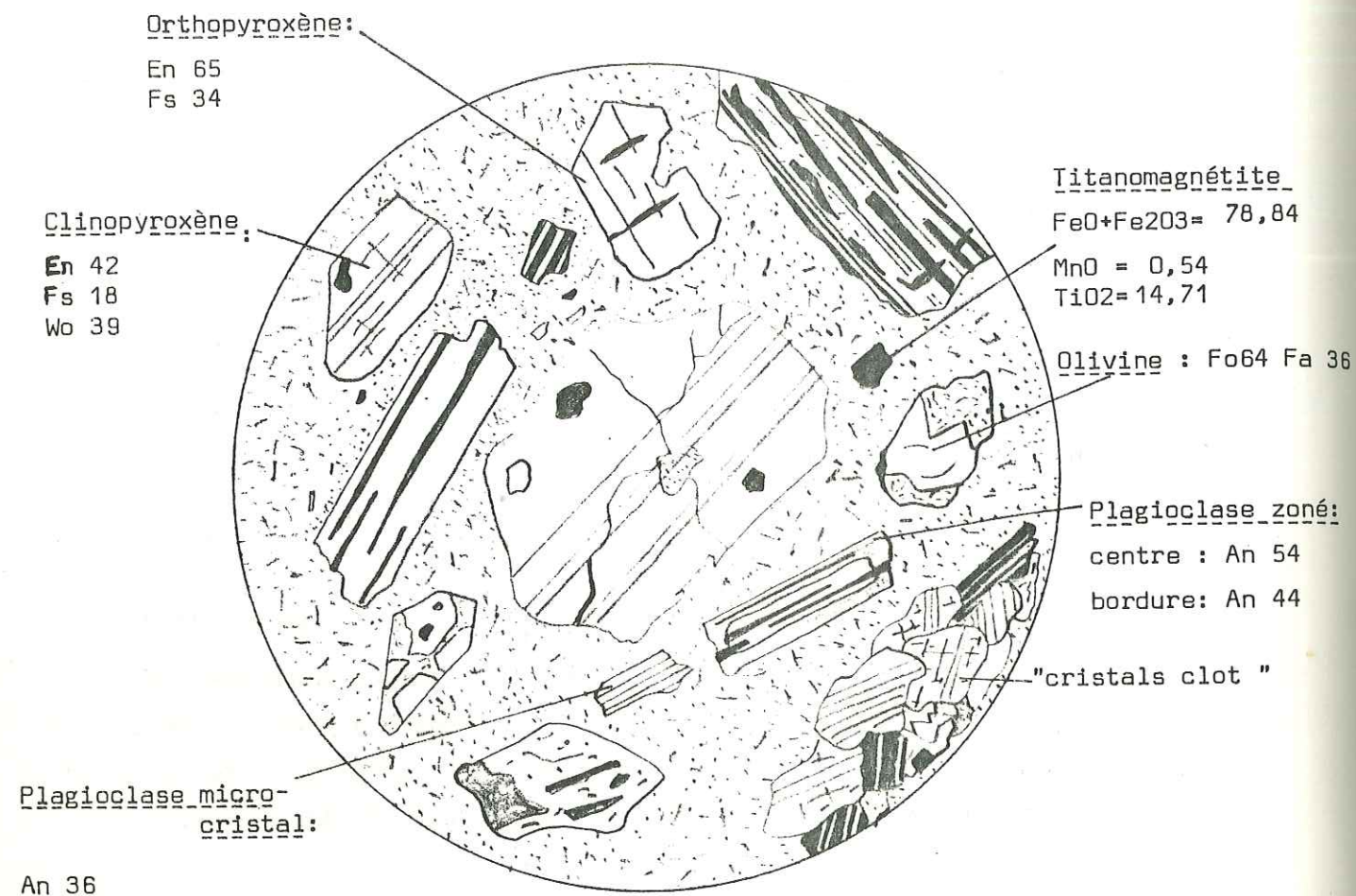
Les phénocristaux de la roche sont en équilibre avec la mésostase vitreuse à l'exception de l'amphibole qui montre



Andésite basique à Olivine Orthopyroxène et Clinopyroxène: Figure 77

Localité type : Tourrettes s/Loup Ech. Pl 1 analyse N° 36

(x 25)



Paramètres	Q= 0	A= 0	P = 100	(données modales)
	Q= 11,4	A= 11,4	P= 77,1	(données normatives)

Architecture : microlitique porphyrique

Indice de solidification : 21

Indice de différenciation: 44

SiO<sub>2</sub> = 54,60 MgO = 3,03 Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O = 4,62

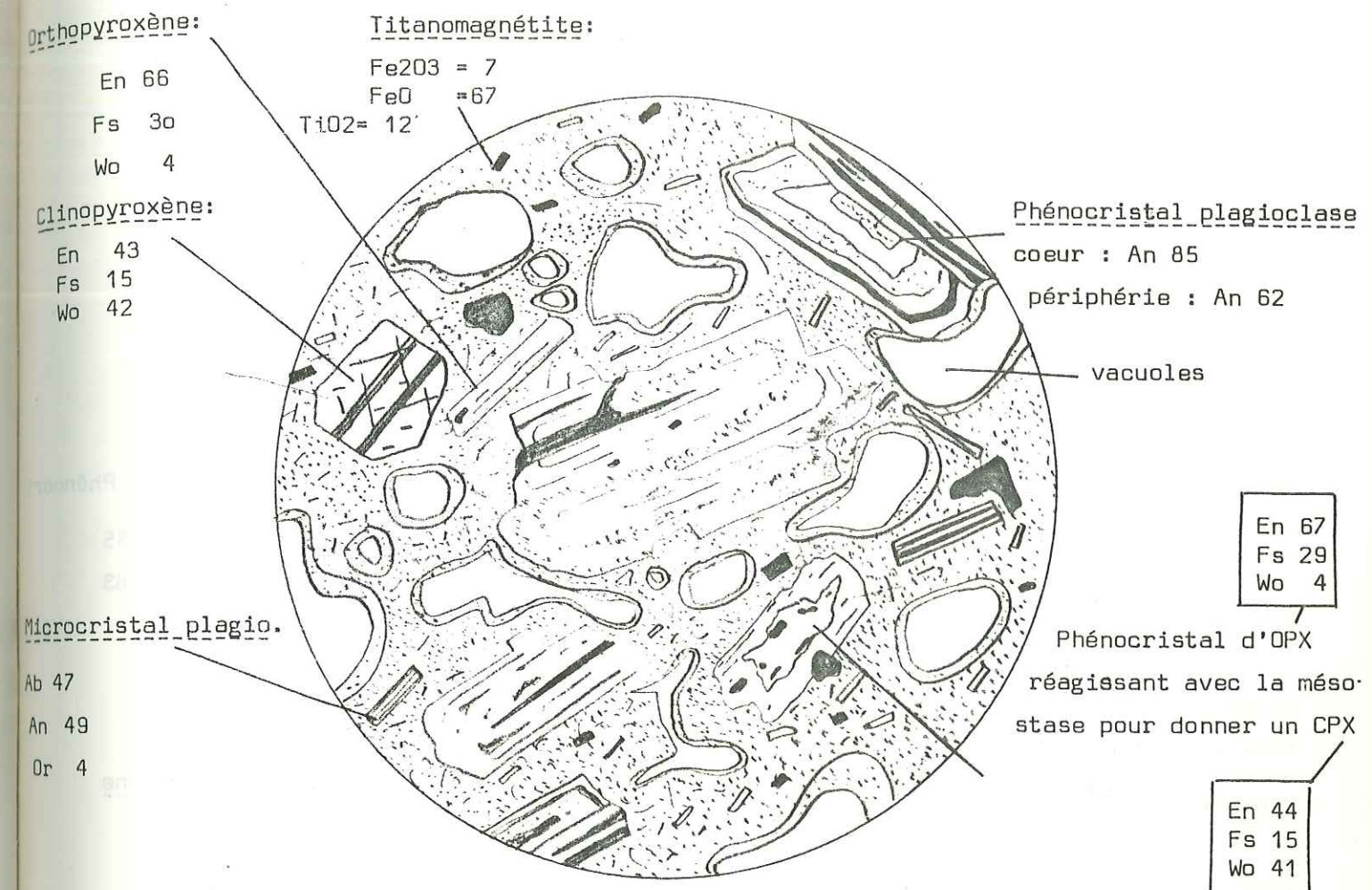
Andésite basique semi-vacuolaire à deux pyroxènes : Figure 78

Localité type : La Vanade (Villeneuve Loubet)

Ech. P.L.805

Analyse N° 24

(x 25)

Architecture : Hyalo-microlitique  
semi-vacuolaire

Paramètres:			
Q = 0	A = 0	P=100	(modal)
Q = 9	A = 8	P=83	(normatif)

Indice de solidification : 18

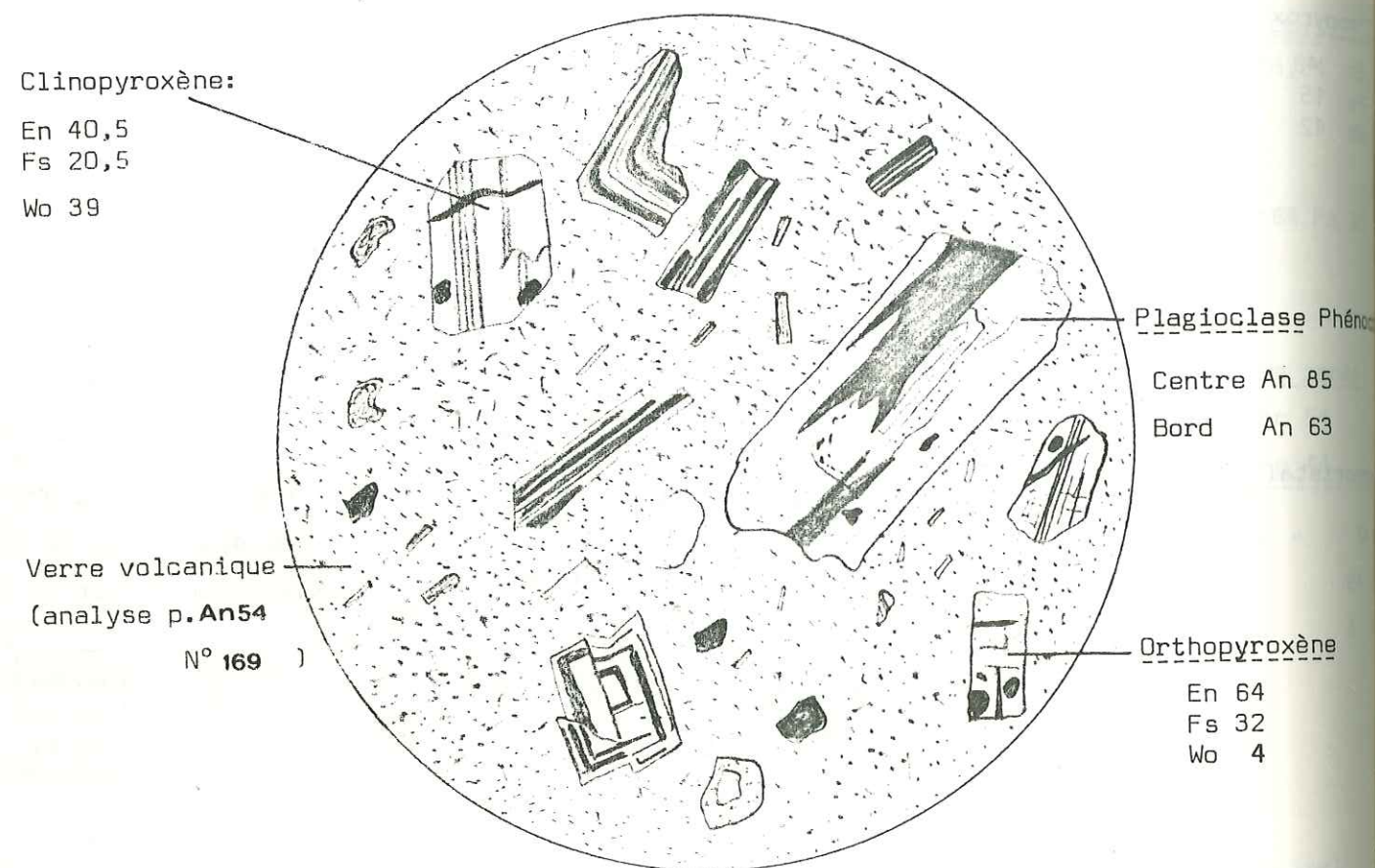
Indice de différenciation: 42

SiO<sub>2</sub> = 52,10 MgO = 2,53 Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O = 4,69



Andésite basique à deux pyroxènes : Figure 79

Localité type : La Vanade (Villeneuve Loubet) Ech:P.L.20 Analyse N° 27



Architecture microlitique porphyrique

Paramètres : Q = 0 A = 0 P = 100 (modal)

Q = 7,14 A = 7,78 P = 59,64 (normal)

Indice de solidification : 22

Indice de différenciation : 44

SiO<sub>2</sub> = 52,80

MgO = 3,45

Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O = 4,83

une nette tendance à la résorption. La résorption de l'amphibole est liée à la présence d'orthopyroxène dans la roche.

#### 1-2-1d) Les andésites à clinopyroxène.

Il s'agit de roches montrant des structures cumulatives (cumulats plagioclasiques) dans lesquelles s'observent de nettes distorsions entre la composition minéralogique et la composition chimique.

#### 1-2-1e) Les cumulats plagioclasiques.

Roche type P.L. 430 Analyse N° 40

Il s'agit de roches entièrement constituées de plagioclases. Leur architecture est cumulative. Nous reviendrons sur leur signification ultérieurement.

#### 1-2-1f) Les lapilli cristallins soudés.

Il existe, dans le secteur de Saint-Paul de Vence une roche très particulière décrite précédemment par A. Blondeau, P. Bordet et L. Ginsburg (1969).

Elle est caractérisée par l'abondance (environ 70%) de cristaux tabulaires de labrador très fissile et par l'argilisation générale de la matrice qui était, selon toute vraisemblance, vitreuse ou cinéritique à l'origine. Les rares cristaux de pyroxène montrent une altération très poussée en chlorite et serpentine. La présence de plages sub-losangiques hématitisées suggère la rétro-morphose complète d'anciennes amphiboles.

Cette roche montre les indices d'une altération intense. L'abondance des plagioclases tabulaires et la matrice argilisée, les fissurations intenses qui affectent les cristaux évoquent une formation de lapilli cristallins sédimentés sous faible tranche d'eau, et agglomérés, puis soudés par les cendres.

#### 1-2-2) Les estérellites du massif de l'Estérel.

Les estérellites présentent une structure "microgrenue" porphyrique qui résulte, semble-t-il, de la cristallisation d'un ancien verre. M. Boucarut (1971) signalait une estérellite à mésostase vitreuse



Référence :	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
Plagioclase	44,27	59,18	26,02	25,05	15,01	26,00	15,35	22,24	17,70	20,51	23,00	24,30
Phénocrist.												
Microcrist.			14,75	17,00	15,00	12,00	16,00	13,19	23,32	17,68	11,2	20,50
Olivine	-	-	4,30	-	-	-	-	-	-	-	-	1,7
Augite	0,56	-	7,78	7,40	2,92	4,27	4,65	4,84	3,82	3,81	7,00	5,40
O.P.X.	-	-	0,81	0,95	0,19	0,54	2,35	2,38	0,46	0,73		4,30
Amphibole	44,35	33,14	-	-	-	1,20	0,01	-	1,79	0,65	0,90	-
Opaques	10,16	7,67	3,86	3,40	2,03	2,00	1,40	4,35	1,01	2,36	2,90	4,20
Total Phénocrist.											42,70	39,90
Mésostase			42,46	45,40	64,81	53,34	60,15	52,98	52,88	54,24	46,00	56,40
Compositions modales des principales variétés pétrographiques de roches en liaison avec le magmatisme calco-alcalin paléogène (Province Liguro-Provençale et sub-alpine méridionale).												

Référence:	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	(21)	(22)	(23)	(24)	(25)
Plagioclase													
Phénocristaux	5,00	39,10	37,64	31,13	40,80	15,11	21,16	23,35	30,91	35,30	31,66	75,00	66,00
Microcristaux	25,10	3,40	3,40	-	2,00	-	-	3,90	-	-	-		
Quartz			1,87	2,22	1,50	5,52	4,45	0,95	6,47	11,30	0,48	19,50	29,10
Clinopyroxène	2,95	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Orthose												1,45	0,50
Amphibole	3,65	3,20	4,83	3,82	5,50	0,09	6,31	8,85	-	-	2,01		
Biotite									2,18	1,10		1,80	0,50
Total Phénocristaux	36,70	45,75	47,74	47,17	49,75	20,42	31,92	37,40	47,01	47,70	34,19		
Mésostase et													
Opaques	63,30	47,25	52,26	58,97	50,25	74,30	68,08	62,60	52,60	52,30	65,80	0,50	1,50
Chlorite	-	7,00	-	-	-	5,22	-	-	-	-	-		
Grenat	-	-	-	-	-	-	-	0,35	-	-	0,04	1,00	2,00

Compositions modales des principales variétés pétrographiques de roches en liaison avec le magmatisme calco-alcalin paléogène (Province Liguro-Provençale ) Suite



(faciès de Prola). Les études à la microsonde électronique ont montré le caractère felsitique de la mésostase des estérellites. Ces roches sont des porphyrites (pour les compositions andésitiques) et des dacitoïdes.

1-2-2a) Le type à Clinopyroxène, amphibole.

Localité type : Les Cou

Ech. T.3 Analyse N° 60 (Fig.80)

Longtemps considéré comme un minéral secondaire (endométamorphisme) en particulier par P. Bordet (1951), le clinopyroxène de l'estérellite a une composition d'augite salitique et non de diopside. Il a donc une signification magmatique (J-D. Giraud, 1975 & 1982), comme le confirme sa distribution constante (environ 3%) dans l'ensemble des gisements.

1-2-2b) Le type moyen à Amphibole.

Localité type : Le Drammont

Ech. T.11 Analyse N° 74 (Fig.81)

Il s'agit du type pétrographique le plus représenté dans l'estérellite. Nous avons choisi de le décrire dans la zone du Drammont où il n'est altéré par aucune manifestation hydrothermale contrairement à ce qui se passe dans d'autres secteurs (Petits Caous, Aigue Bonne).

1-2-2c) Le type à Biotite, Quartz, Plagioclase.

Localité type : Pierre Levée

Ech. 274 Analyse N° 97 (Fig.82)

Tout comme le pyroxène du faciès des Cou, la biotite de l'estérellite de Pierre Levée avait été interprétée comme un minéral d'endo-métamorphisme. Il présente une signification magmatique (J-D. Giraud, 1982) comme le montre son taux modal constant.

1-2-2d) Le type à grandes andésines.

Localité type : Point Coté 90,2

Il s'agit d'une roche formée de l'accumulation de grands cristaux d'Andésine. La matrice qui montre une composition dacitique est pauvre en éléments fémiqes (0,5% de biotite). La présence de grenat primaire au cœur des plagioclases évoque une analogie entre cette roche et une enclave trondhjémitique rencontrée dans l'estérellite (Cf. A1-3-4).

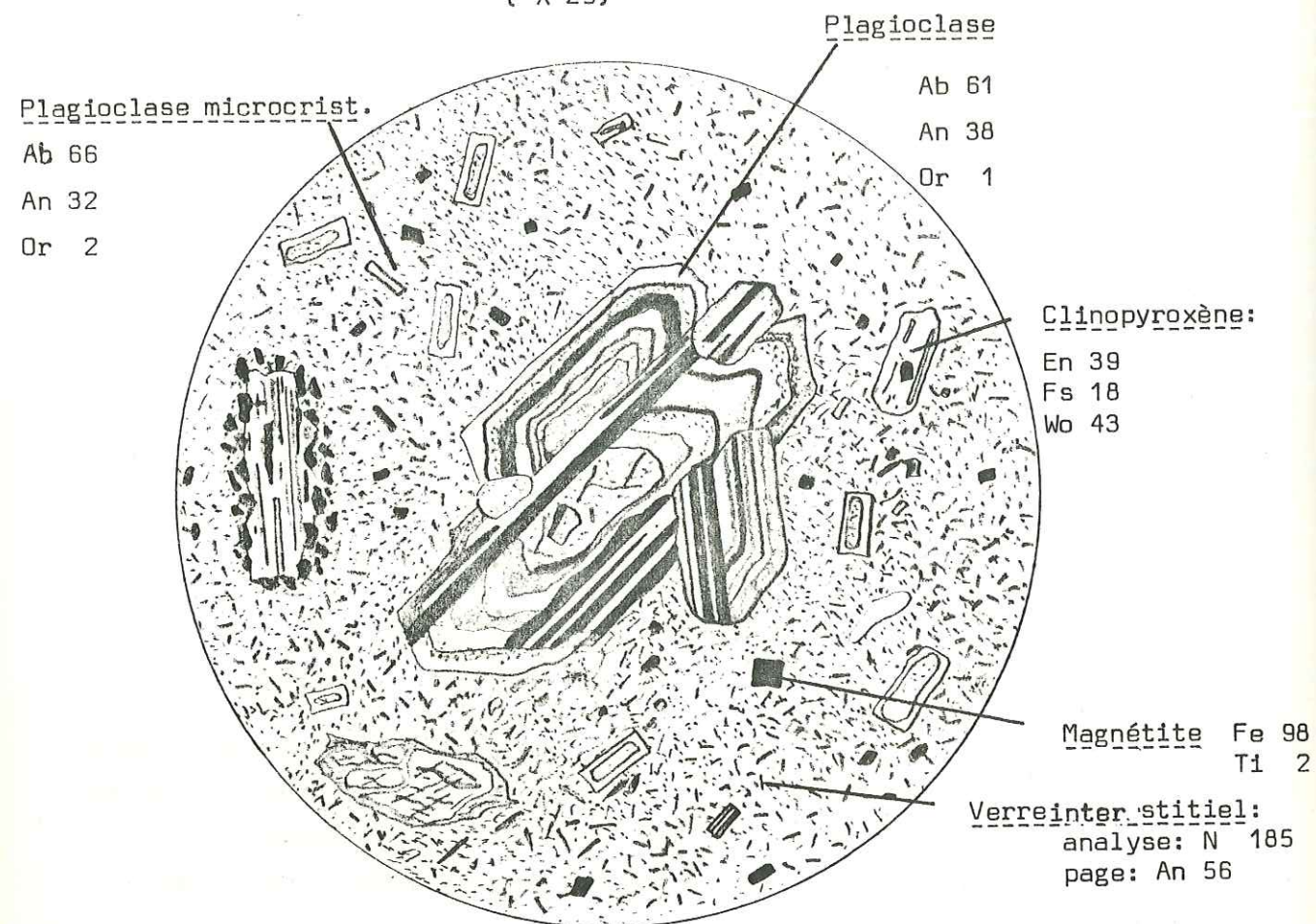


Microdiorite quartzique (dacitoïde) à clinopyroxène et amphibole

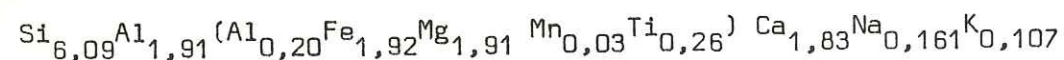
Localité type: Carrière des Cou (Estérel) Ech.: T.3 Analyse N° 60

Figure 80

( X 25)



Hornblende:



Architecture : Microgrenue (résultant de la cristallisation d'un verre dacitique)  
(felsitique)

Paramètres : Q = 0 A = 0 P = 100 (modal)  
Q = 22 A = 10 P = 68 (normatif)

Indice de solidification : 19

Indice de différenciation: 63

SiO<sub>2</sub> = 57,71

MgO = 2,73

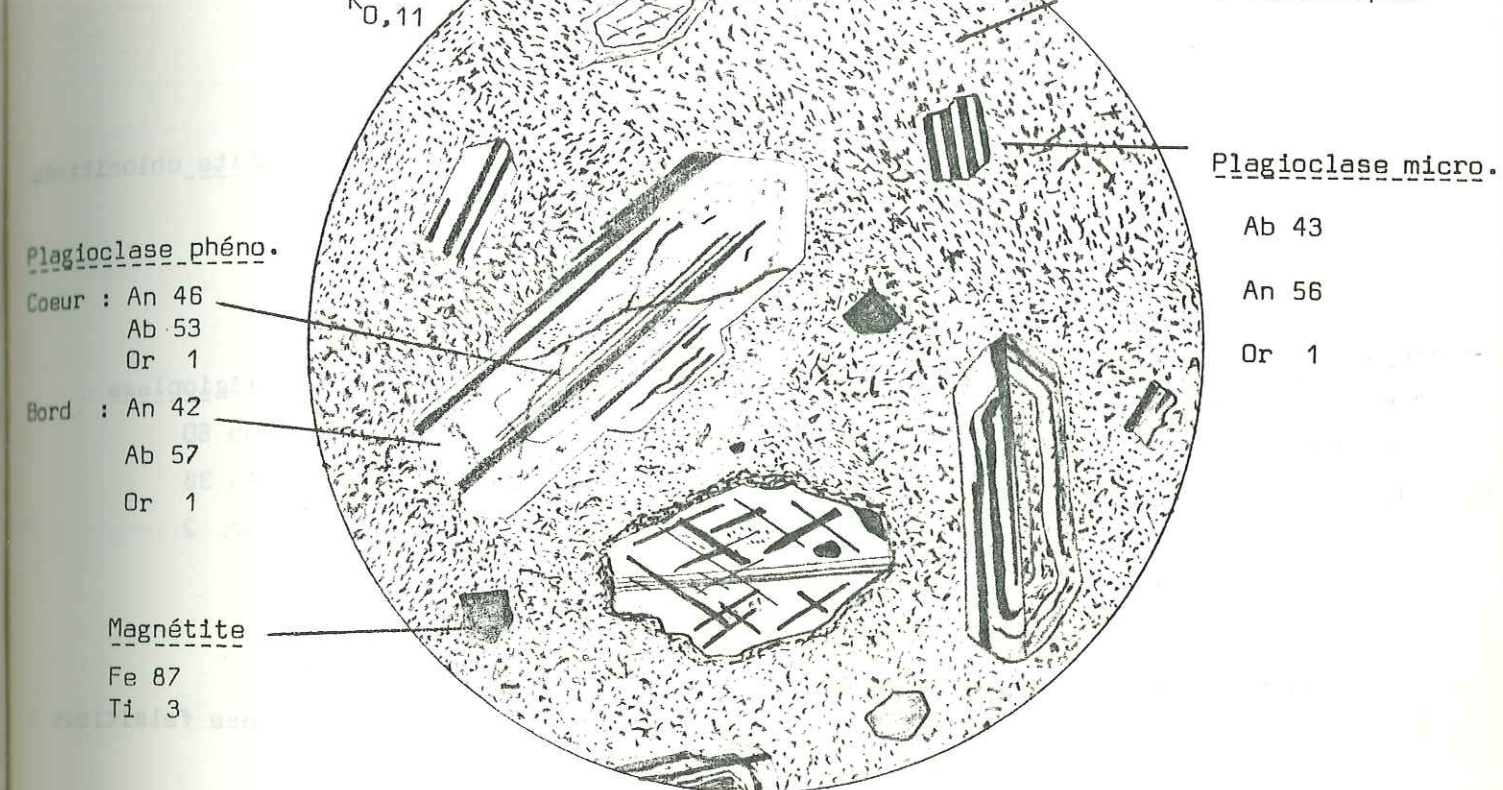
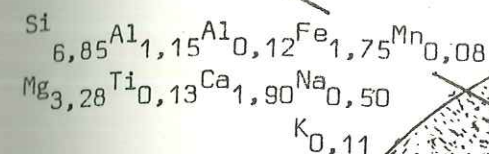
Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O = 5,64

Microdiorite quartzique (dacitoïde) à plagioclase et Hornblende

Localité type: Carrières de Drammont (Estérel) Ech. T.11 analyse N° 74

Amphibole: Figure: 81

( x 25)



Architecture microgrenue (felsitique par recristallisation)

Paramètres : Q = 0 A = 0 P = 100 (modal)  
Q = 19 A = 9 P = 72 (normatif)

Indice de solidification: 17

Indice de différenciation: 59

SiO<sub>2</sub> = 60,81

MgO = 1,88

Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O = 5,41

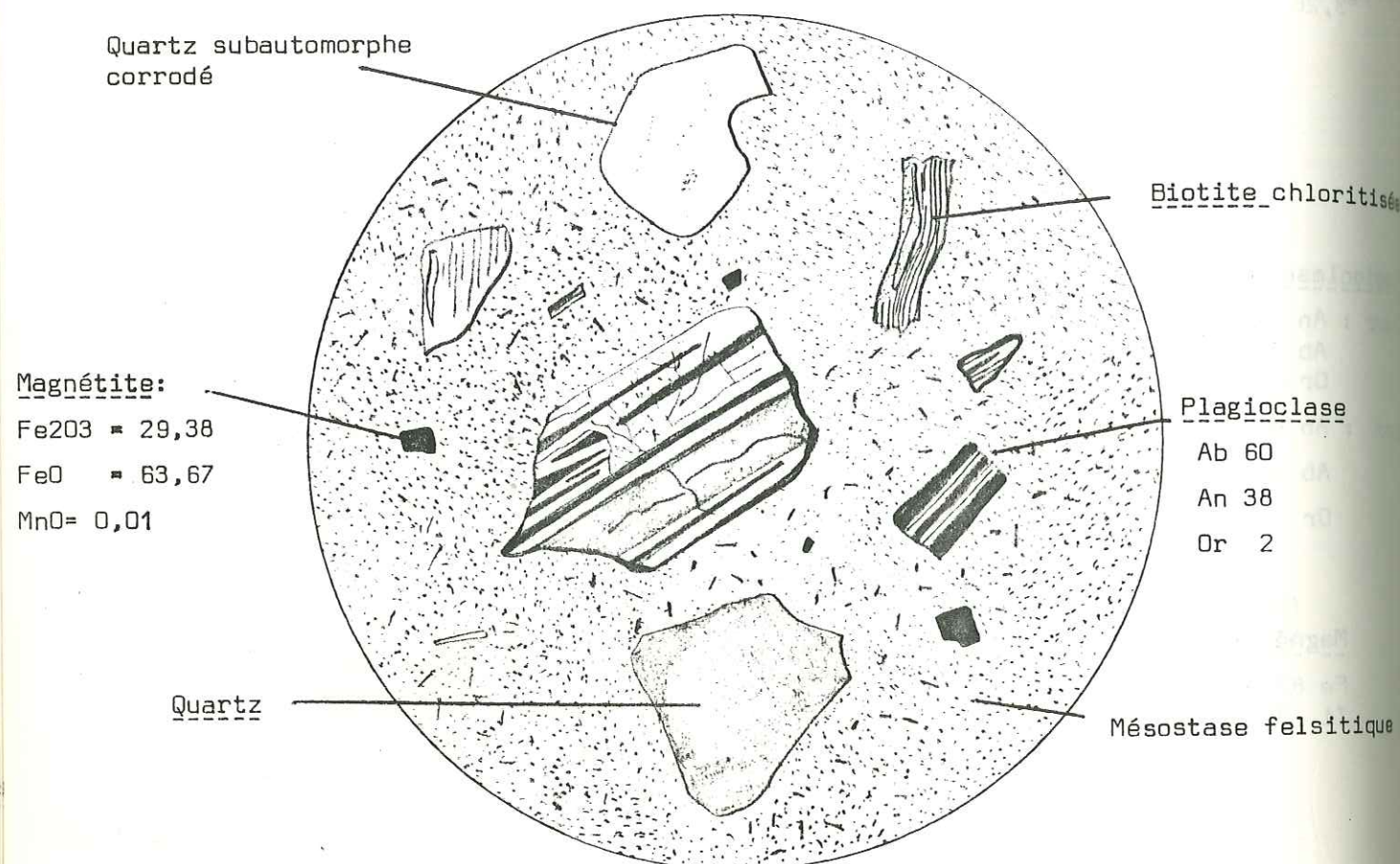


Microdiorite quartzique (rhyo-dacitoïde) à biotite

Localité type : La Pierre Levée (Estérel) Ech. P.L. 274 Analyse N° 97

Figure 82

( X25)



Architecture : Microgrenue (résultant de la recristallisation d'un ancien verre rhyo-dacitique) - felsitique

Paramètres	Q = 17,5	A = 0	P = 83,5	(modal)
	Q = 24	A = 11	P = 65	(normatif)

Indice de solidification: 11

Indice de différenciation: 72

SiO<sub>2</sub> = 66,30

MgO = 0,82

Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O = 6,42

### A 1-3) Les enclaves homoéogènes.

On trouve en abondance, dans les dacitoïdes et les porphyrites de l'Estérel ainsi que dans les andésites de la région niçoise des roches grenues à l'état d'enclaves à contours généralement anguleux. La structure de ces roches peut être grenue équante ou cumulative (orthocumulat au sens de L.R. Wager, G.M. Brown et W.J. Wadsworth, 1960).

Dans les orthocumulats, le plagioclase montre des zonations identiques à celles que l'on observe dans les roches hôtes.

#### 1-3-1) Les gabbros-diorites à deux pyroxènes et hornblende

Localité de prélèvement : Biot

Ech. P.L. 52 Analyse N° 13 (Fig.83a)

#### 1-3-2) Les gabbros-diorites à clinopyroxène et hornblende

Localité de prélèvement : carrières de Drammont

Ech. P.L. 341 Analyse N° 10 (Fig.83b)

#### 1-3-3) Les gabbros-diorites à hornblende

Localité de prélèvement : carrières de Drammont

Ech. P.L. 328 Analyse N° 8 (Fig.84)

#### 1-3-4) Les diorites à amphiboles aciculaires (orthocumulats)

Localité de prélèvement : le Drammont

Ech. P.L. 340 Analyse N° 11 (Fig.85)

Les amphiboles sont très allongées et montrent un canalicule central. Le plagioclase est zoné, contrairement à ce qui a été observé dans les enclaves précédemment décrites.

#### 1-3-5) Les trondhjémites à grenats

Localité de prélèvement : Les Cou

Ech. P.L. 350 Analyse N° 16 (Fig.86)

#### 1-3-6) Les enclaves microgrenues doléritiques

Elles présentent une structure différente de celle des autres enclaves. Quelques cristaux de plagioclase de grande taille (1 à 2mm) apparaissent dans une mésostase microcristallisée où les plagioclases dessinent un agencement doléritique. Ces enclaves s'apparentent, selon nous, aux enclaves décrites par J. Didier (1964) dans les roches granitiques. Leur étude a été confiée à J. Didier (travail en cours).

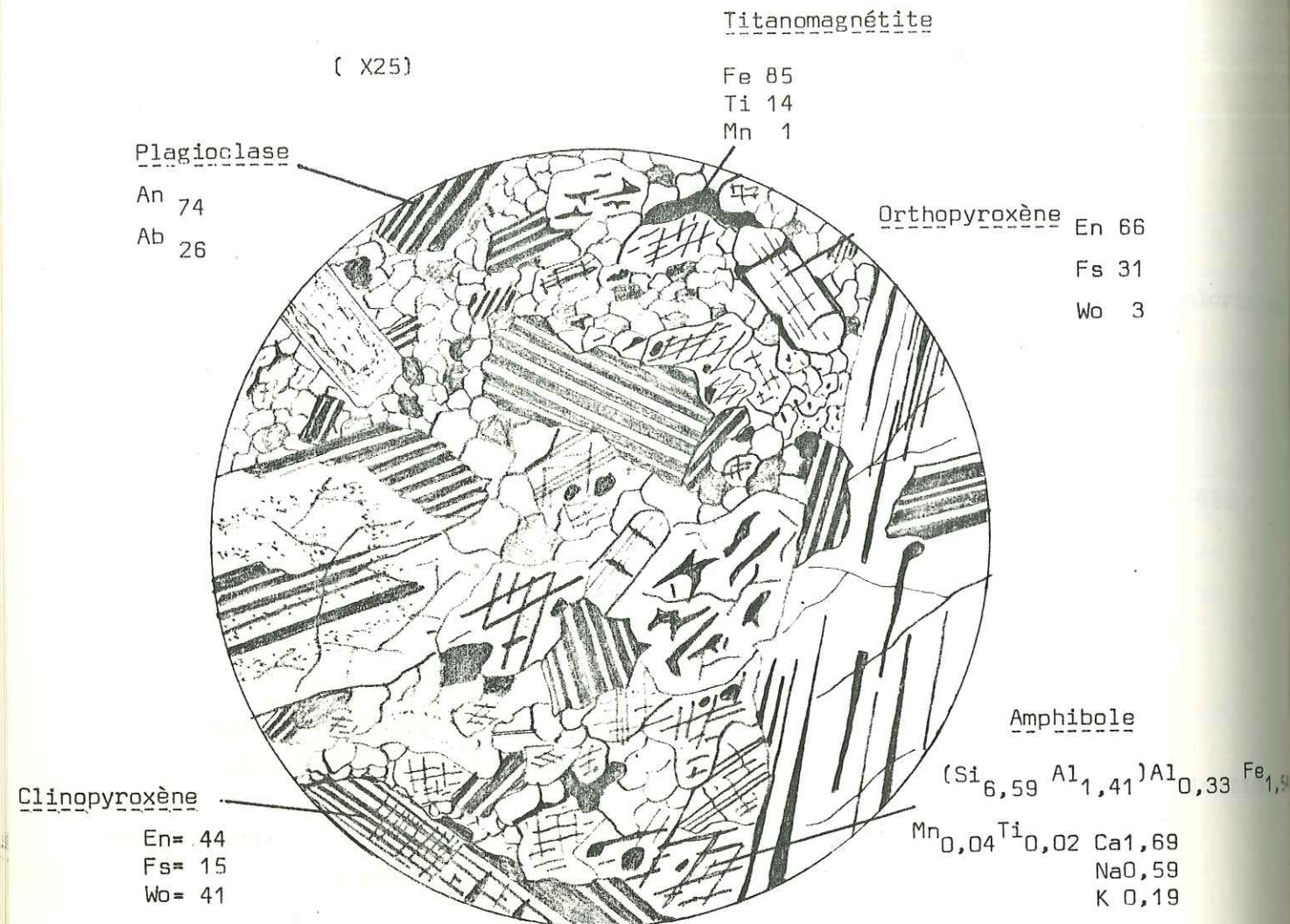


Enclave homoeogène gabbroïque à deux pyroxènes et hornblende

Localité de Prélèvement: Le terme blanc de Biot Ech. PL.52 analyse

N° 13

Figure 83 a



Architecture : grenue

Paramètres	Q = 0	A = 0	P = 100	(modal)
	Q = 4	A = 3	P = 93	(normatif)

Indice de solidification : 32

Indice de différenciation: 31

SiO<sub>2</sub> = 49,60

MgO = 4,38

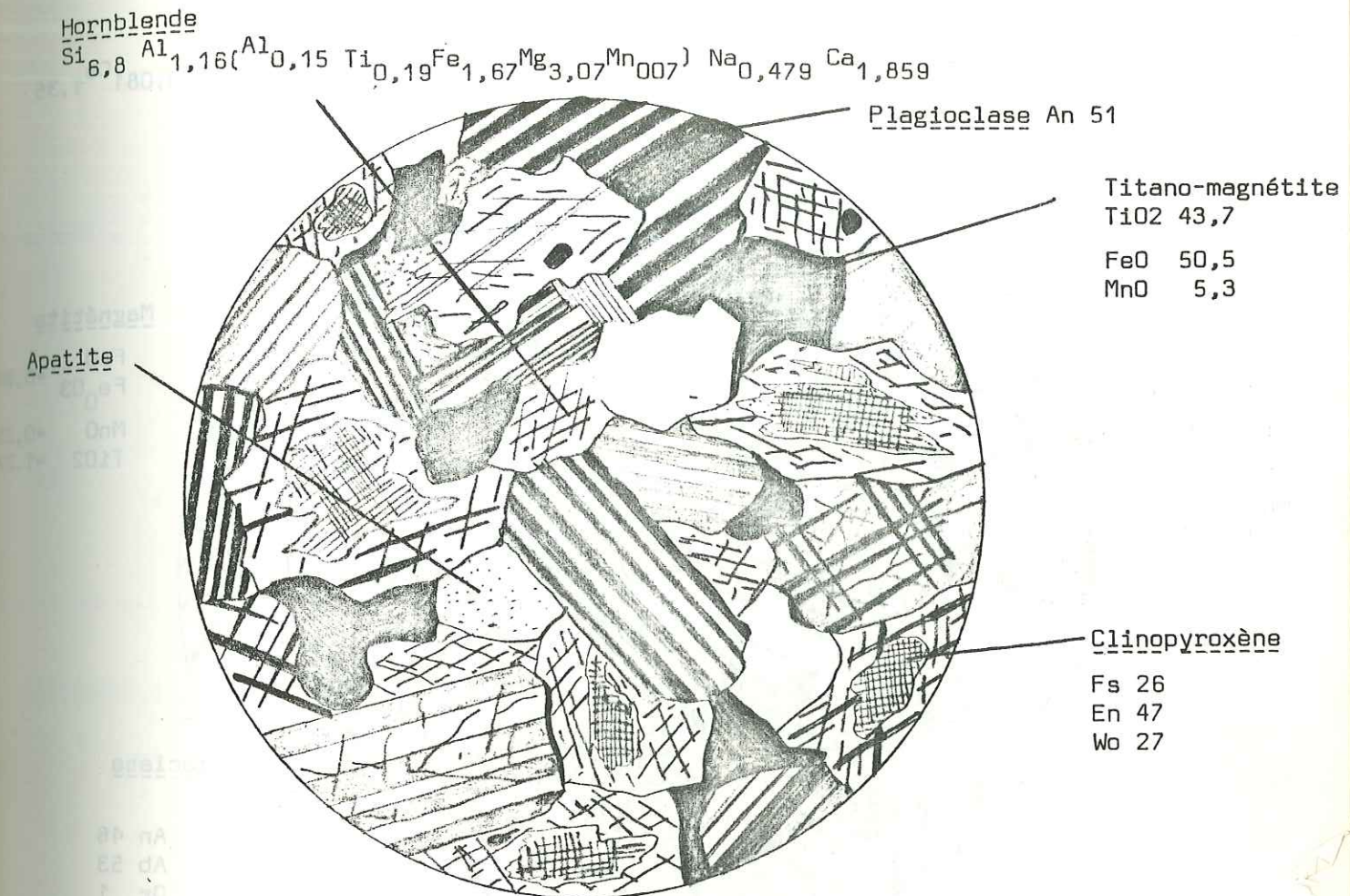
Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O = 3,54

Enclave homoeogène de gabbro-diorite à clinopyroxène et hornblende

Localité de prélèvement: Carrières de Drammont (Estérel) Ech. p.L.341 Analyse N° 10

Figure 83 b

( x 25)



Paramètres:	Q = 0	A = 0	P = 100	(modal)
	Q = 6,4	A = 9,4	P = 84	(normatif)

Architecture : grenue équante

Indice de solidification: 28

Indice de différenciation : 37

SiO<sub>2</sub> = 47,70 MgO = 5,74 Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O = 4,28

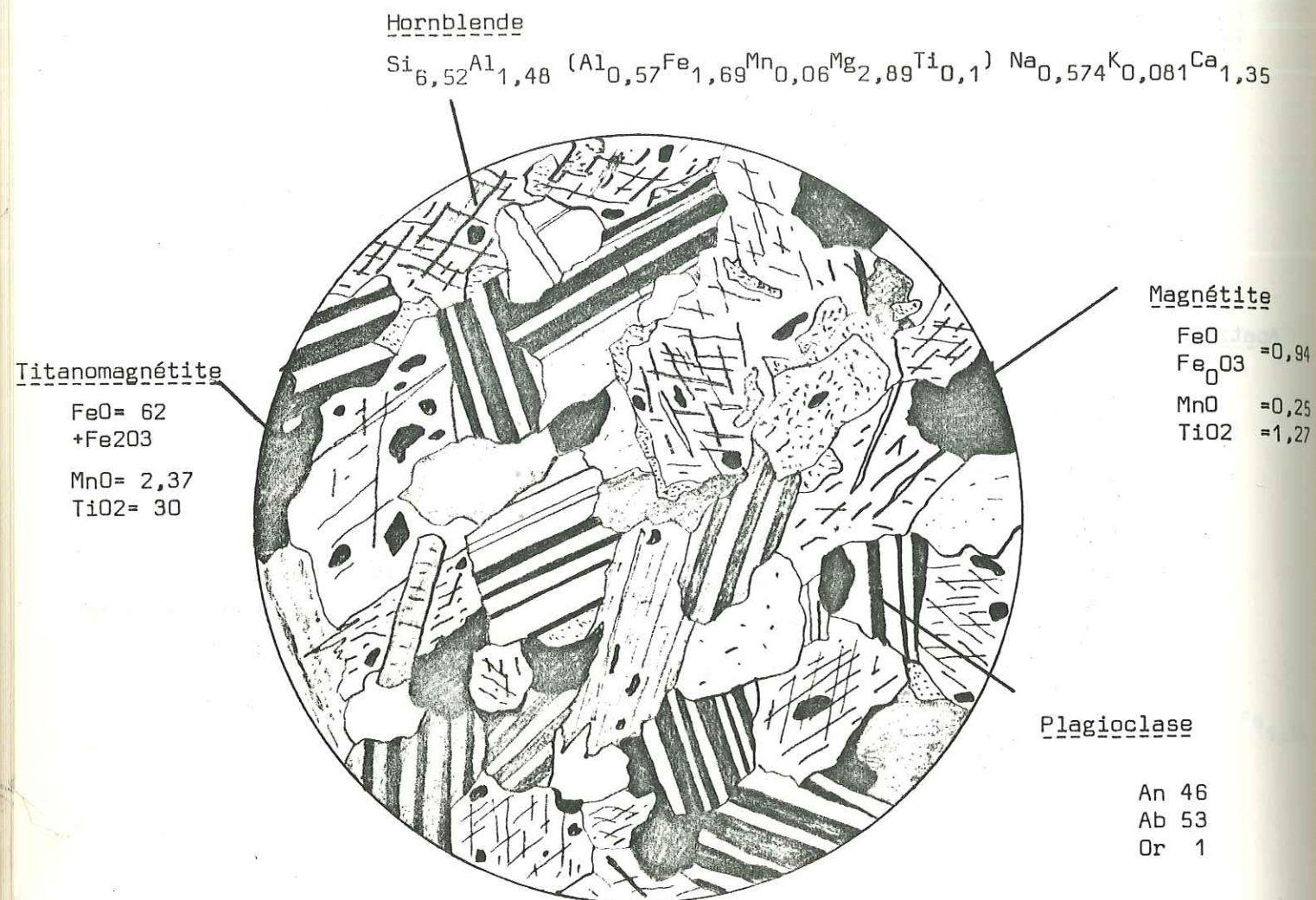


Enclave homoeogène de gabbro - diorite à hornblende

Localité de prélèvement : Carrières de Drammont Ech.:P.L.328 Analyse

Figure 84

( x 25)



Paramètres: Q= 0 A= 0 P= 100 (données modales)  
 Q= 0 A= 2,5 P= 97,5 (données normatives)

Architecture : grenue équante

Indice de solidification : 30

Indice de différenciation : 37

$\text{SiO}_2 = 47,50$   $\text{MgO} = 6,82$   $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} = 4,49$

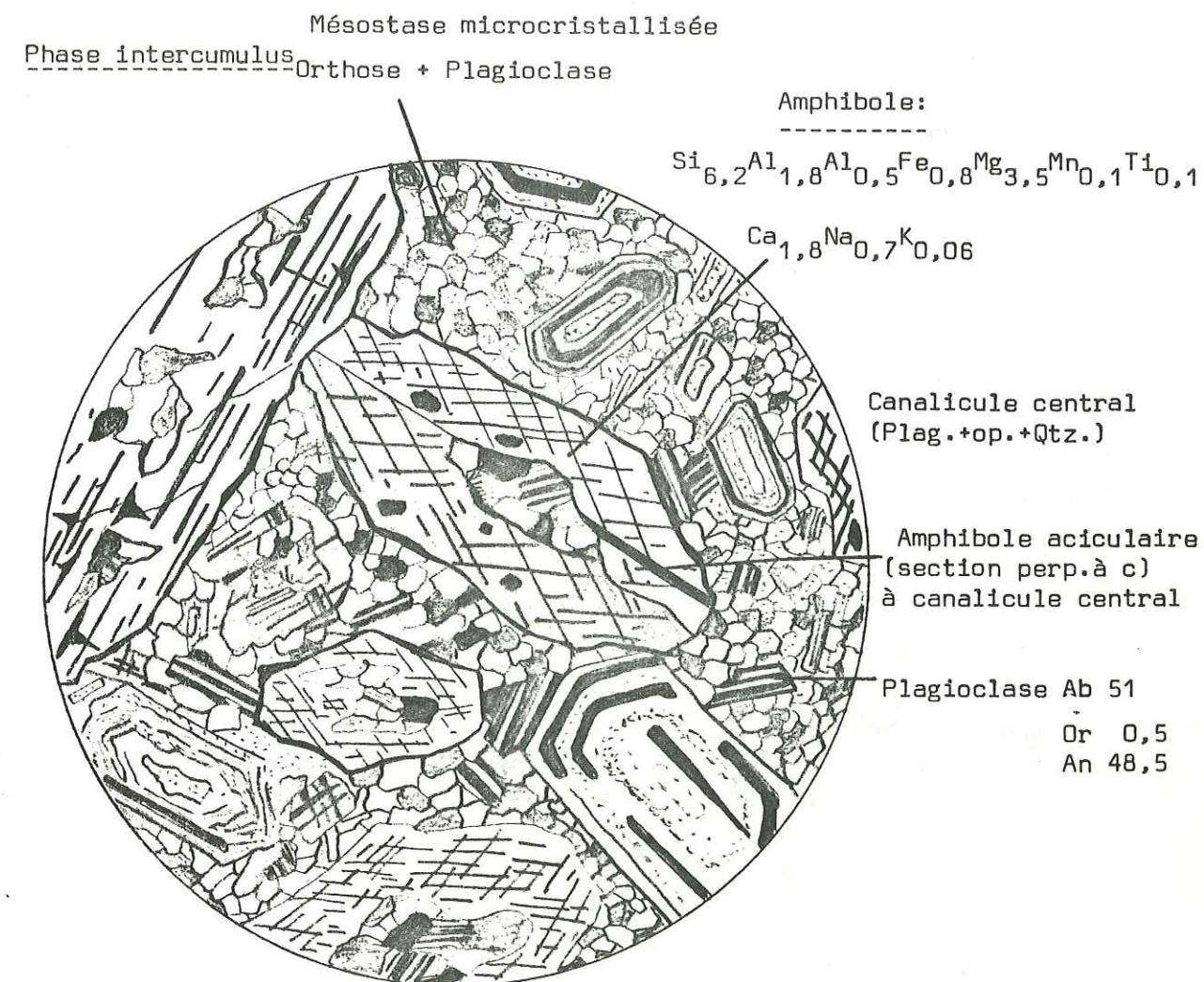
Enclave homoeogène de diorite à amphiboles aciculaires (cumulat)

Localité de prélèvement : Le Drammont (Estérel) Ech. PL340 Analyse

Figure 85

N° 11

( X25)



Architecture : Microgrenue cumulative(Orthocumulat)

Paramètres Q: 0 A= 1 P= 100 (modal)  
 F = 2 A = 13 P= 85 (normatif)

Indice de solidification: 27

Indice de différenciation: 41

$\text{SiO}_2 = 48,40$

$\text{MgO} = 5,50$

$\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} = 5,33$

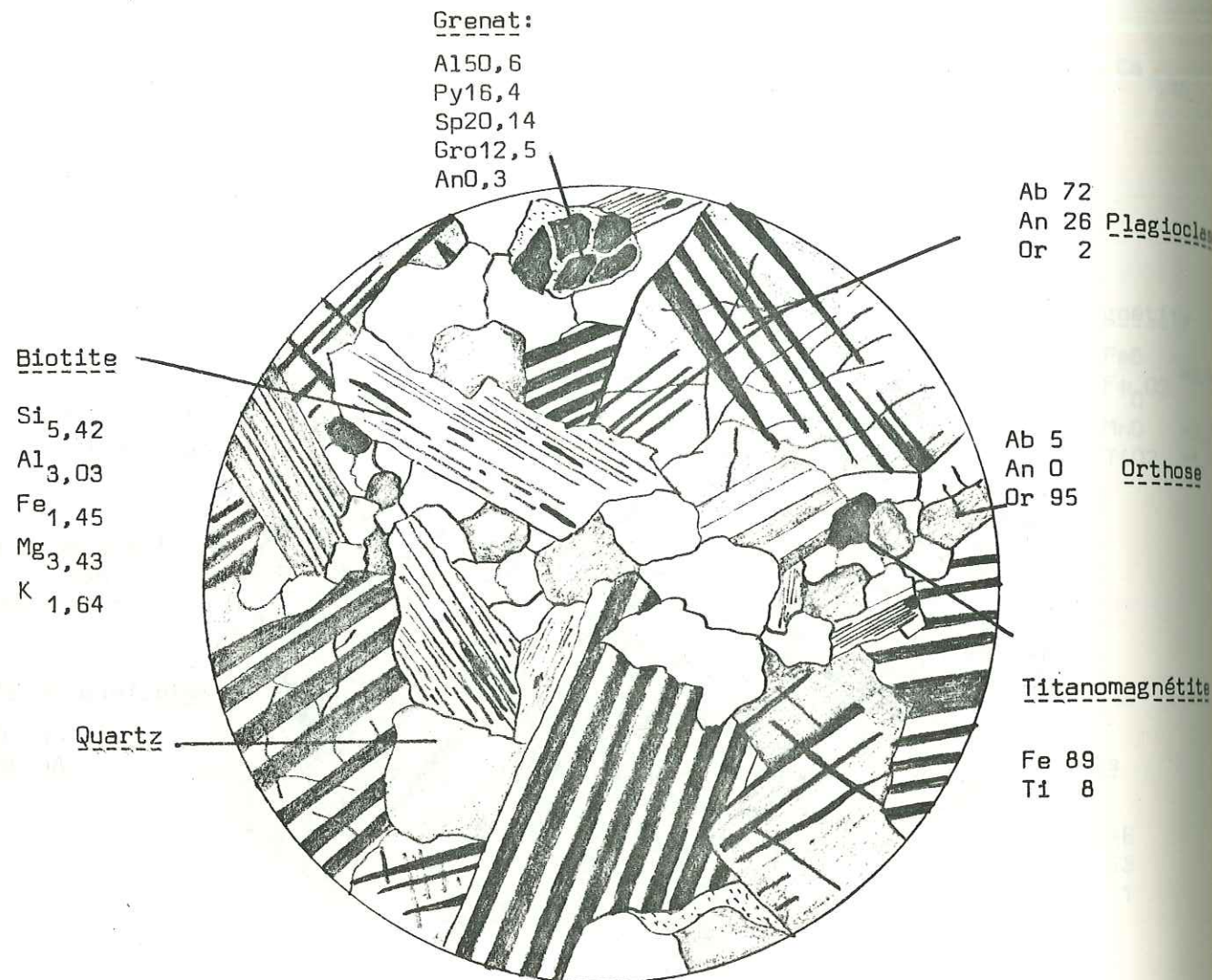


Enclave de trondjémite à grenats

Localité de prélèvement : Les Cou (Estérel) Ech: P.L.350 Anal: 16

Figure 86

( x 25)



Architecture: grenue

Paramètres Q = 20 A = 3 P = 77 (modal)

Q = 39 A = 7 P = 54 (normatif)

Indice de solidification : 5

Indice de différenciation: 76

SiO<sub>2</sub> = 71,50 MgO = 0,42 Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O = 5,04

#### A 1-4) Les formations liées aux activités pneumatolytiques et hydrothermales.

##### 1-4-1) Les concentrations calcitiques dans l'estérellite.

La carrière des Petits Caous a entaillé un bloc d'environ 10m<sup>3</sup> constitué de calcite pure sur laquelle plusieurs déterminations aux rayons X ont confirmé l'absence de phases minéralogiques associées. Cette veine de calcite affleure dans une zone où l'estérellite montre des phénomènes d'intense altération hydrothermale. Les plagioclases et les amphiboles sont entièrement rétrotransformés en produits d'altération chloriteux et calcitiques. La remobilisation du calcium par des fluides semble responsable de l'accumulation calcitique dans des failles synchrones de la mise en place de l'estérellite. On observe dans ce secteur des concentrations importantes de pyrite, de blende et de galène (J.E. Dietrich, comm. orale, 1979). L'origine de ces minéralisations est, semble-t-il, liée à l'activité hydrothermale. C'est dans cette même zone que les données de la radiochronologie posent encore des problèmes (J.C. Baubron, 1975).

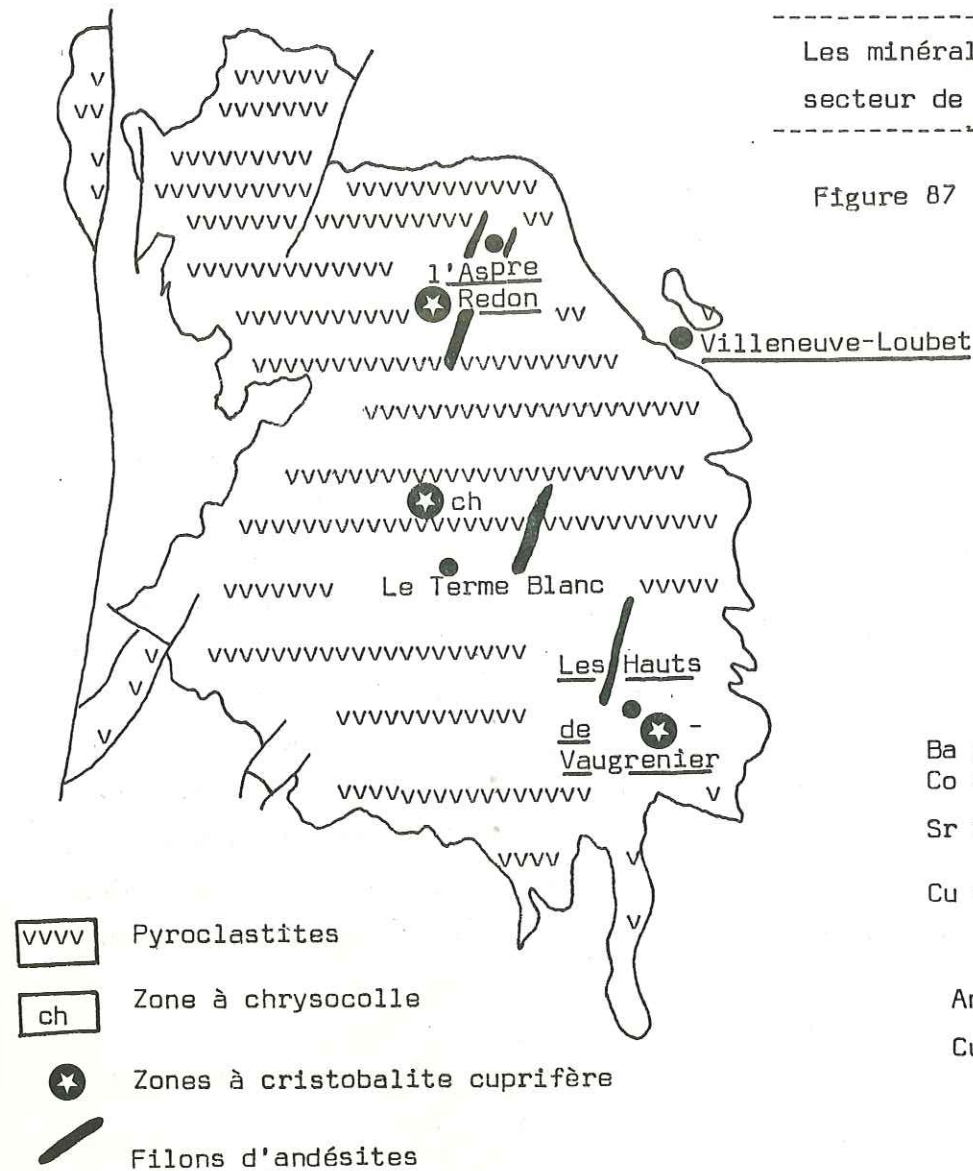
##### 1-4-2) Le cuivre et la silice du secteur de Biot (Fig.87).

Une andésite très minéralisée en malachite et azurite a été découverte dans le secteur nord du Terme Blanc. Le cuivre se localise dans des diaclases affectant l'andésite. Des études à la microsonde ont montré que le cuivre était concentré préférentiellement dans les fissures, confirmant ainsi l'observation macroscopique. Le verre volcanique de l'andésite, en revanche, ne contient pas de cuivre. La recherche de cet élément par témoin sonore et la microphotographie électronique en balayage ont montré que le cuivre était concentré dans des zones vitreuses, au cœur des phénocristaux de plagioclase zoné. Ce fait, qui semble indiquer la concentration du cuivre dans un magma précoce, permet d'envisager une remobilisation tardive par des solutions hydrothermales et son dépôt sous forme de carbonates hydroxylés dans des fissures. La présence de cuivre dans les magmas andésitiques a été récemment signalée dans une andésite de l'arc des Antilles (R.C. Maury



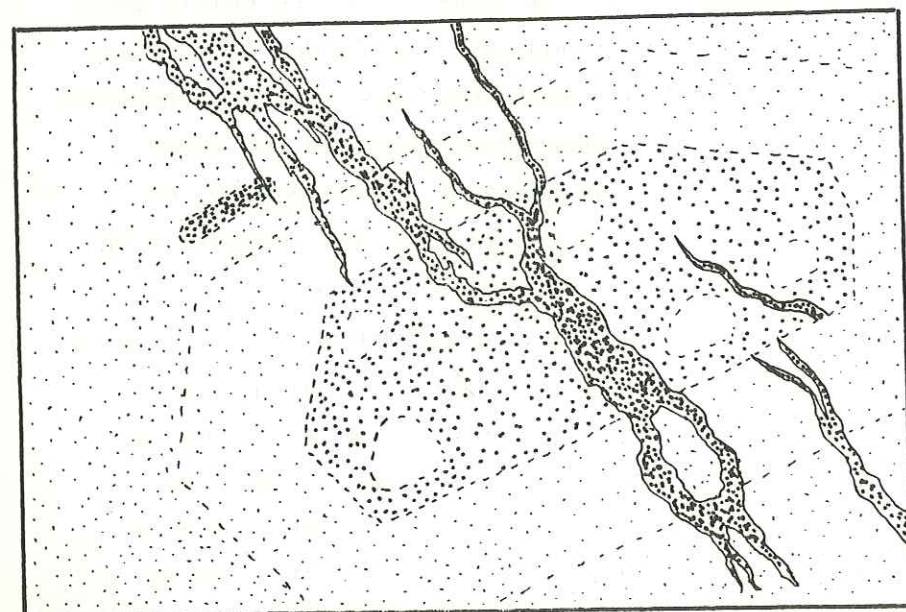
Les minéralisations cuprifères du  
secteur de Biot - Villeneuve Loubet

Figure 87



SiO <sub>2</sub>	= 91,71
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	= 0,26
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	= 0,21
MnO	= 0,01
MgO	= 0,22
CaO	= -
Na <sub>2</sub> O	= 0,08
K <sub>2</sub> O	= 0,05
TiO <sub>2</sub>	= 0,05
P.au feu	= 6,74
Ba inf.10ppm	
Co = 59ppm, Cr inf.10ppm, Ni=47ppm	
Sr inf.10ppm, Vinf.10ppm, Rb inf.10ppm	
Cu = 3,2.10 <sup>4</sup> ppm soit 3,2 %	

Analyse chimique de la cristobalite  
Cuprifère des Hauts de Vaugrenier



Microphotographie M.E.B. de l'andésite cuprifère du Terme Blanc

[Pattern]	moins de 1% de Cu
[Pattern]	de 1 à 4%
[Pattern]	Plus de 4%

Limite du premier front de croissance  
du phénocrystal de plagioclase zone

Fissures à azurite et malachite

et coll. 1980). L'andésite de Careffe contient du cuivre natif déposé dans des fissures. Or, cette roche est exempte de toute altération et très aphyrique. Elle représente, vraisemblablement, un stade primitif où le cuivre se concentre à l'état natif.

Les failles recoupant les pyroclastites andésitiques du secteur de Biot sont silicifiées (G. Deicha, 1947). Dans le secteur des Hauts de Vaugrenier a été découverte une poche d'opale-cristobalite cuprifère contenant plus de 3% de cuivre. Une telle teneur semble indiquer que le cuivre **ne** se trouve pas à l'état d'atomes diffus. Les nombreux diffractogrammes réalisés sur cette lentille n'ont cependant pas révélé l'existence d'une phase minéralogique associée à la silice. Citons, enfin, l'existence de zones riches en chrysocolle, fréquemment associé à la silice cuprifère, en particulier dans les secteurs du Jas de Madame, du Terme Blanc et de l'Aspre Redon (P. Rostan, étude en cours).

## A 2) LA PROVINCE SUB-ALPINE MERIDIONALE

### A 2-1) Le volcanisme de Saint-Antonin.

#### 2-1a) Les pyroclastites andésitiques.

Jusqu'alors interprétés comme des lahars (J. Bodelle, 1971), ces formations sont des nuées à blocs résultant d'une dynamique volcanique de type nuée ardente (J.-D. Giraud, 1978 ; M. Le Guern, 1979). On y trouve, en abondance, des bois incarbonés et silicifiés. Les évaluations thermométriques par spectrométrie infra-rouge indiquent des températures de mise en place voisines de 500°C (M. Le Guern, 1979). Ces températures sont supérieures à celles que l'on avait obtenues dans le secteur de Biot, et voisines de celles des bois carbonisés dans l'éruption de l'Etna en 1971 (refuge Citelli).

La matrice des nuées du secteur de Saint-Antonin est analogue à celle des pyroclastites de Biot. L'orthopyroxène y est rare. Les plagioclases sont entourés d'une gaine vitreuse (Fig.88), le degré de soudure varie d'un point à l'autre de l'épanchement. Des ponces andésitiques, pouvant atteindre 50cm ont été trouvées dans le secteur de Chamengearde. Elles correspondent à des nuées de ponces synchrones de la mise en place des nuées ardentes. Le verre, très vésiculé, est transformé en chlorite.



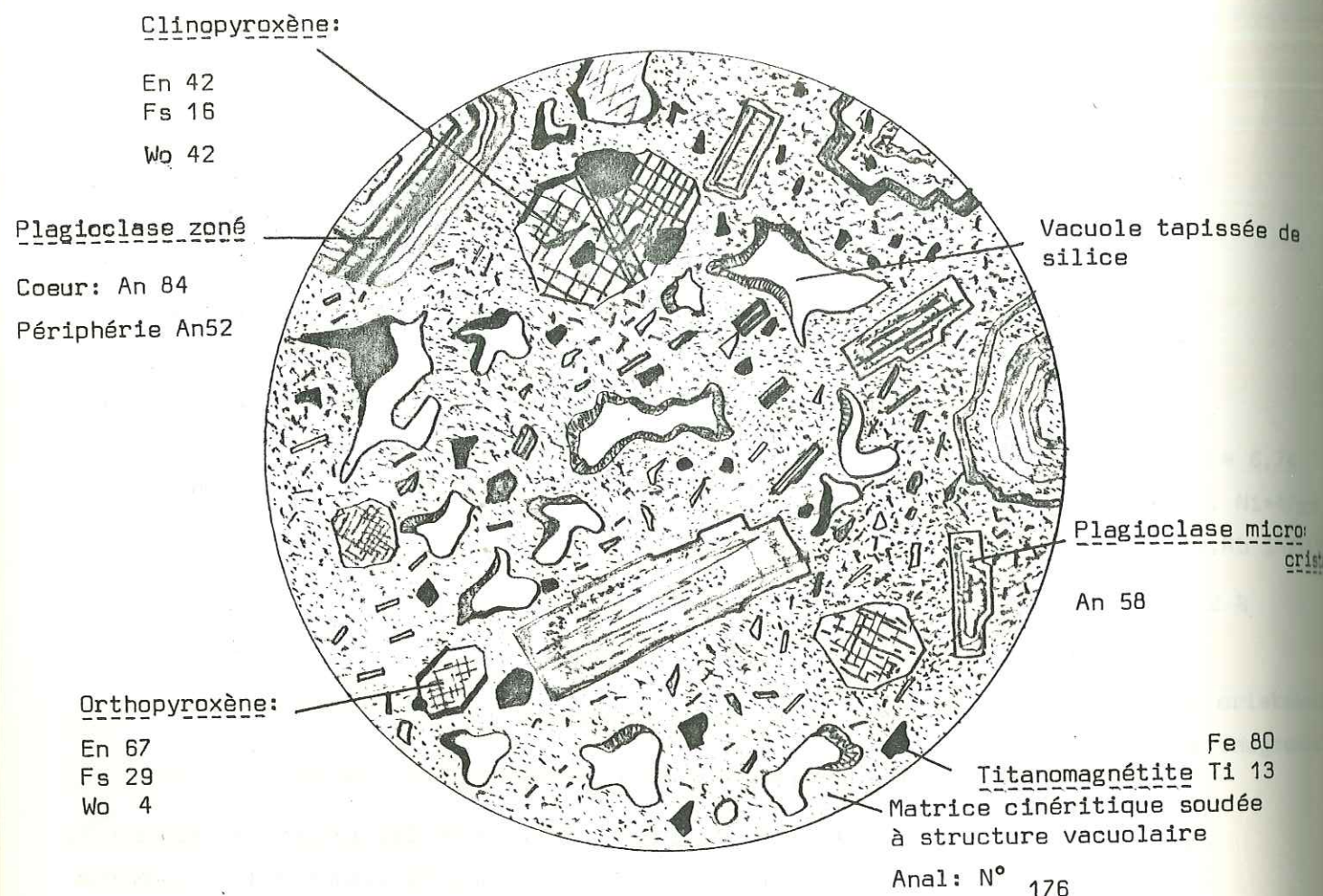
Figure 88: Pyroclastite andésitique

(matrice de nuée à blocaux)

Localité de prélèvement (Collongues, Saint-Antonin) Ech.: P.L. 256

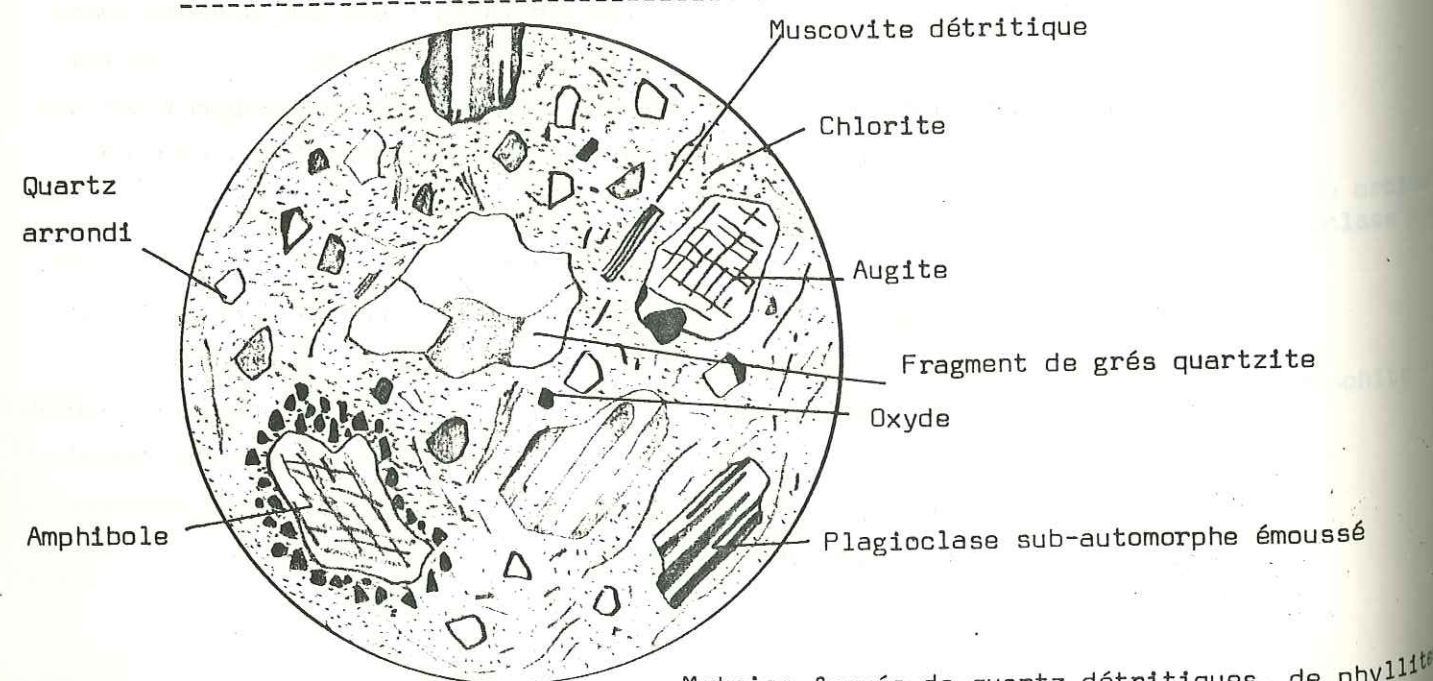
Anal: 155

[ x 25]



Matrice de coulée volcano-sédimentaire (Lahar)

Localité de prélèvement : Saint - Antonin Ech: P.L. 290 a Figure 89



Matrice formée de quartz détritiques, de phyllite

Architecture: volcano - détritique

Les cinérites, peu abondantes, subsistent sous forme de quelques poches disséminées entre les différents épanchements de nuées à blocaux. Ces cendres, constituées de fragments de minéraux volcaniques (plagioclase et augite essentiellement) ont été étudiées au microscope électronique à balayage (M. Le Guern, 1979). On y observe le type vacuolaire où la surface des cristaux est accidentée de petites cavités qui peuvent s'enfoncer profondément dans le cristal, le type indenté, le type brisé et le type couvert de sublimés (ces cendres montrent une forte similitude avec celles décrites par G. Heiken (1972) au Ruapehu, au volcan Mayon et au Santiaguito).

## 2-1b) Les lahars.

On les observe entre les différentes émissions pyroclastiques (Fig. 89). Contrairement aux brèches volcaniques, ils sont polygéniques et renferment des fragments de sédiment mélangés au matériel volcanique. Le ciment est phylliteux et renferme de la muscovite détritique.

## 2-1c) Les manifestations effusives.

Les laves du volcan de Saint-Antonin sont essentiellement représentées par des andésites et dacites à pyroxène et hornblende. Elles présentent une structure très porphyrique. Ce caractère a conduit C. Alsac (1969) à conclure que les laves de Saint-Antonin étaient des cumulats. Il convient de nuancer cette conclusion. S'il est vrai que la plupart des laves contiennent plus de 40% de phénocristaux, les laves des filons andésitiques montrent un caractère nettement moins accumulé. Nous retiendrons ces dernières roches comme étant les plus représentatives du magmatisme. Nous distinguerons :

\* Les laves remaniées à l'état de galets au sommet des formations détritiques sous-jacentes aux brèches volcaniques.

Elles sont très altérées et riches en plagioclases tabulaires très fissurés. Les minéraux féimiques sont entièrement pseudomorphosés en produits d'altération et sont identiques aux roches décrites dans la Province Liguro-Provençale dans le secteur de Saint-Paul de Vence. Nous les interprétons comme des lapilli cristallins déposés sous faible tranche d'eau.



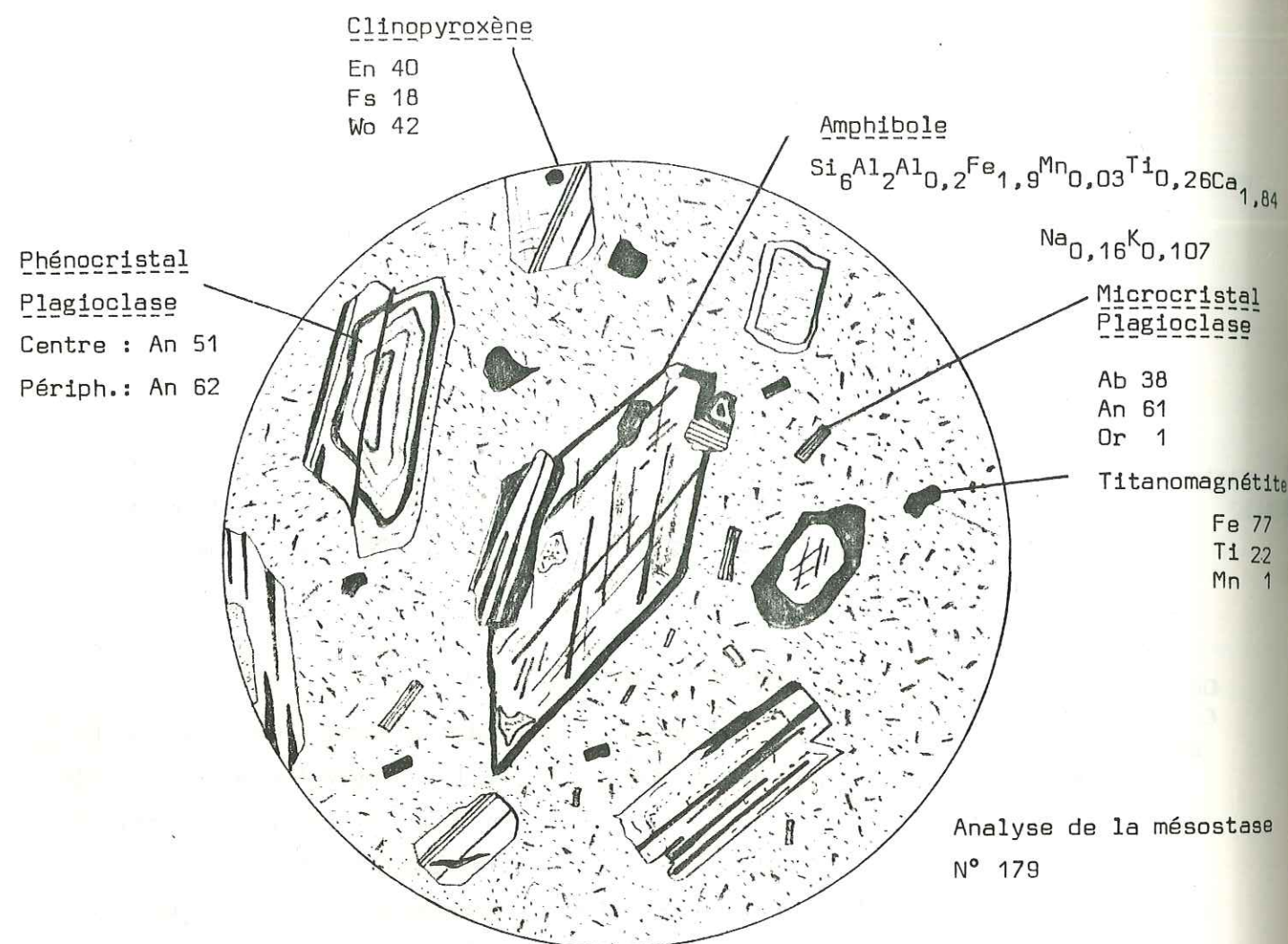
Andésite à clinopyroxène et amphibole

Localité de prélèvement Chamengearde (Saint - Antonin)

Ech.: P.L.260 Anal: 88

Figure 90

( x 25)



Architecture : microlitique porphyrique

Paramètres : Q = 0      A = 0      P = 0      (modal)  
                   Q = 22      A = 11      P = 67      (normatif)

Indice de solidification = 8,38

Indice de différenciation = 61

SiO2 = 62,10

MgO = 1,91

Na2O + K2O = 5,35

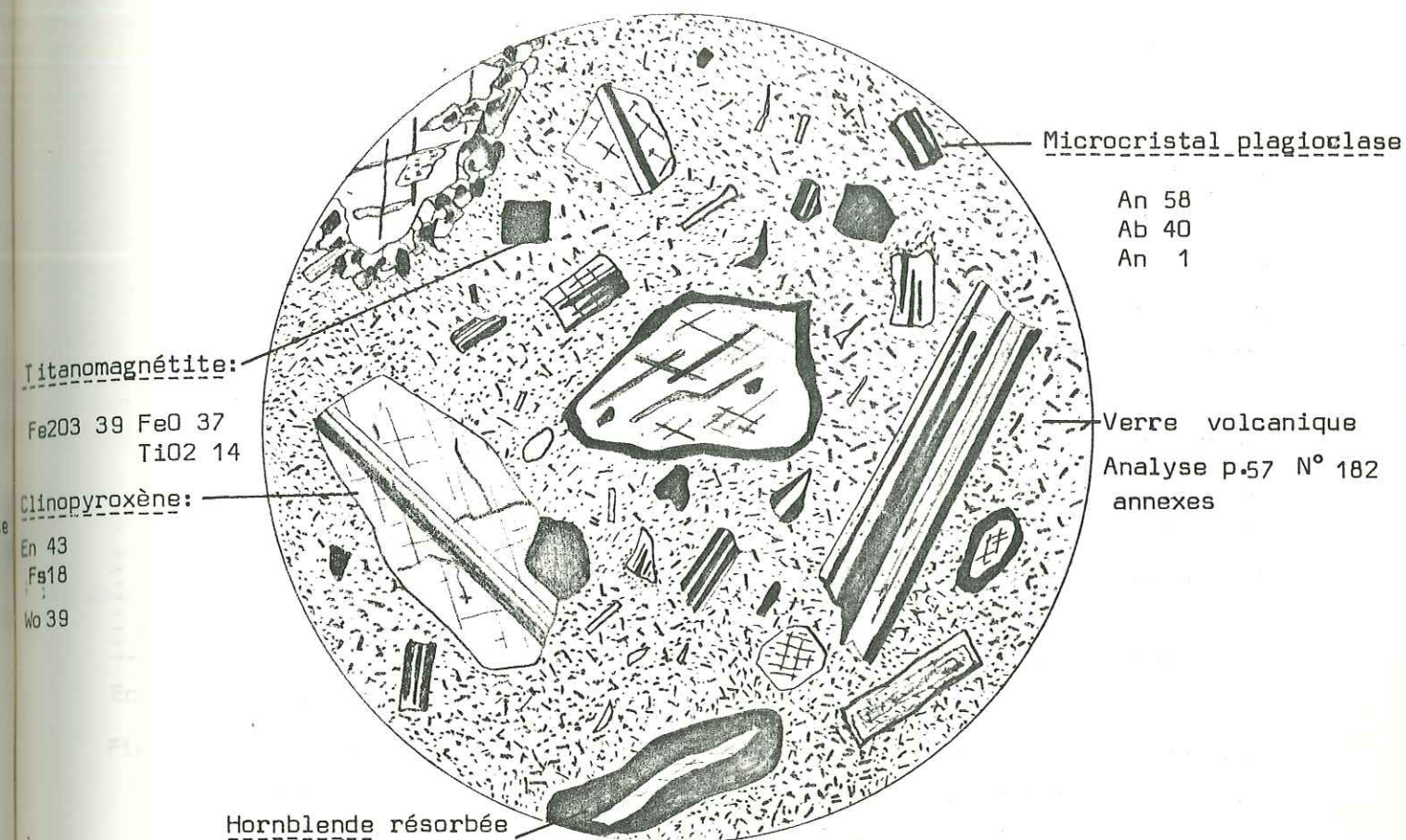
Andésite basique à clinopyroxène et amphibole

Localité type: Vallon de Chamengearde (Saint Antonin) Ech.: P.L. 237 bis

Analyse N° 53

Figure 91

( x 25)

Hornblende:  $\text{Si}_{6,3}\text{Al}_{1,7}(\text{Al}_{0,6}\text{Fe}_{1,6}\text{Mg}_{3,05}\text{Mn}_{0,03}\text{Ti}_{0,25})\text{Ca}_{1,60}\text{Na}_{0,74}\text{K}_{0,11}$ 

Architecture : microlitique porphyrique

Paramètres : Q = 0      A = 0      P = 100      (modal)

Indice de solidification : 16

Indice de différenciation : 48

SiO2 = 54,50

MgO = 2,28

Na2O + K2O = 5,12



\* Les laves du volcan de Saint-Antonin.

Il s'agit d'andésites et de dacites dont le type moyen correspond à une andésite à clinopyroxène et amphibole (Fig. 90 et 91). M. Le Guern (1980) avait décrit, à Saint-Antonin, une série différenciée allant des basaltes aux dacites et rhyodacites. L'existence d'une différenciation semble confirmée par les variations de la basicité du plagioclase (An 80 à An 40). Il convient, cependant, de remarquer que l'abondance du plagioclase, la silicification fréquente des andésites par des solutions hydrothermales et l'absence d'olivine dans les "basaltes" et "andésites basiques".

Les roches du volcan de Saint-Antonin se sont formées, semble-t-il, par cristallisation d'un liquide andésitique où les phénomènes cumulatifs ont joué un rôle important et où seules les roches peu cristallisées doivent être prises en compte.

Ces roches posent une nouvelle fois le problème des cumulats plagioclasiques dans les séries andésitiques (C. Coulon, R.C. Maury, 1980). Le phénomène cumulatif rend impossible dans ces roches une approche classique des phénomènes de différenciation. Aucun paramètre minéralogique ou géochimique ne semble devoir pallier cet inconvénient. Nous verrons, ultérieurement, que l'étude de la typologie du zircon accessoire peut apporter une approche d'évaluation et de contrôle du phénomène cumulatif.

#### A2-2) Les formations volcano-sédimentaires du synclinal de Barrême.

Les éléments andésitiques sont représentés par des galets dans les conglomérats oligocènes de la Poste de Clumanc (J. Bodelle, 1971). Les roches sont très altérées et s'apparentent au type décrit dans la Province Liguro-Provençale (Saint-Paul de Vence) et dans la Province Sub-Alpine Méridionale (Saint-Antonin) (Fig. 92 b & c).

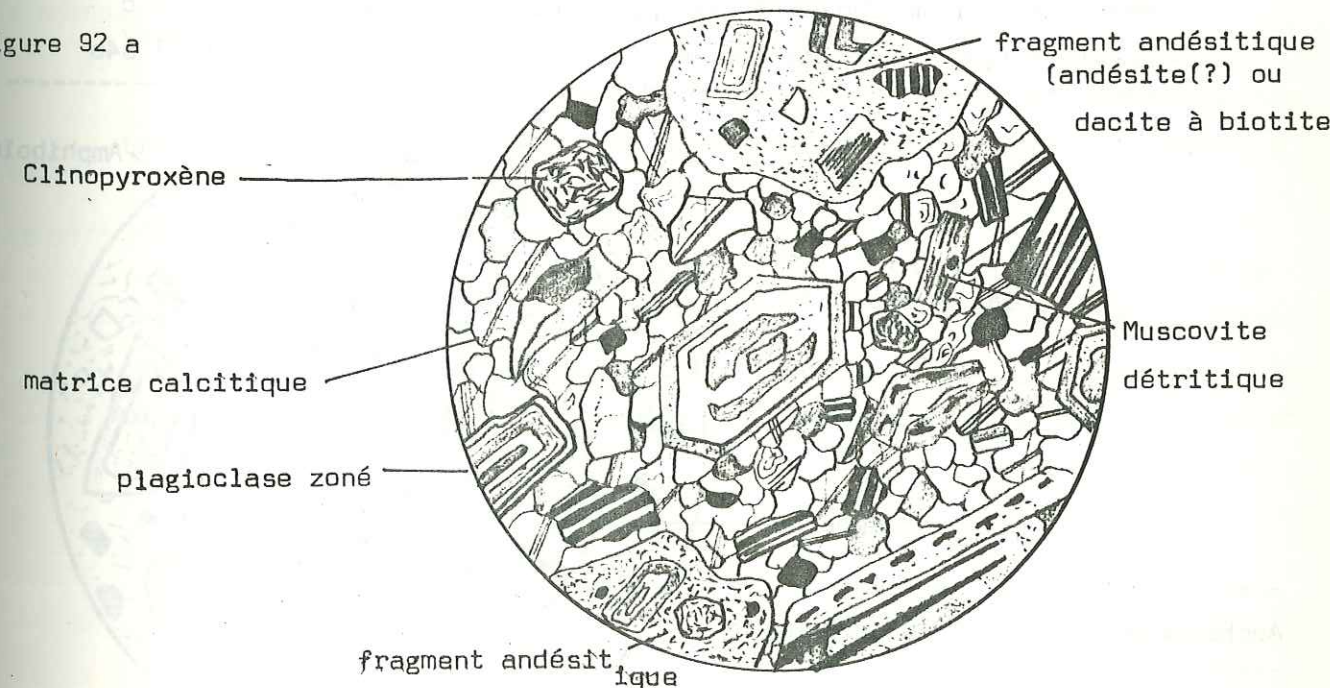
Dans le secteur de l'Aubre affleure un niveau, de teinte sombre, interstratifié dans les conglomérats de la Poste de Clumanc. Il s'agit d'un grès monogénique à éléments andésitiques. Les seuls éléments étrangers sont constitués par de rares muscovites détritiques (Fig. 92a). Les populations de zircon accessoire sont homogènes et typiques du volcanisme calco-alcalin tertiaire (voir chapitre consacré au zircon).

Grès monogénique à éléments volcaniques  
Localité de prélèvement: Poste de Clumanc (Synclinal de Barrême)

Ech.: P.L. 290 b

(x 25)

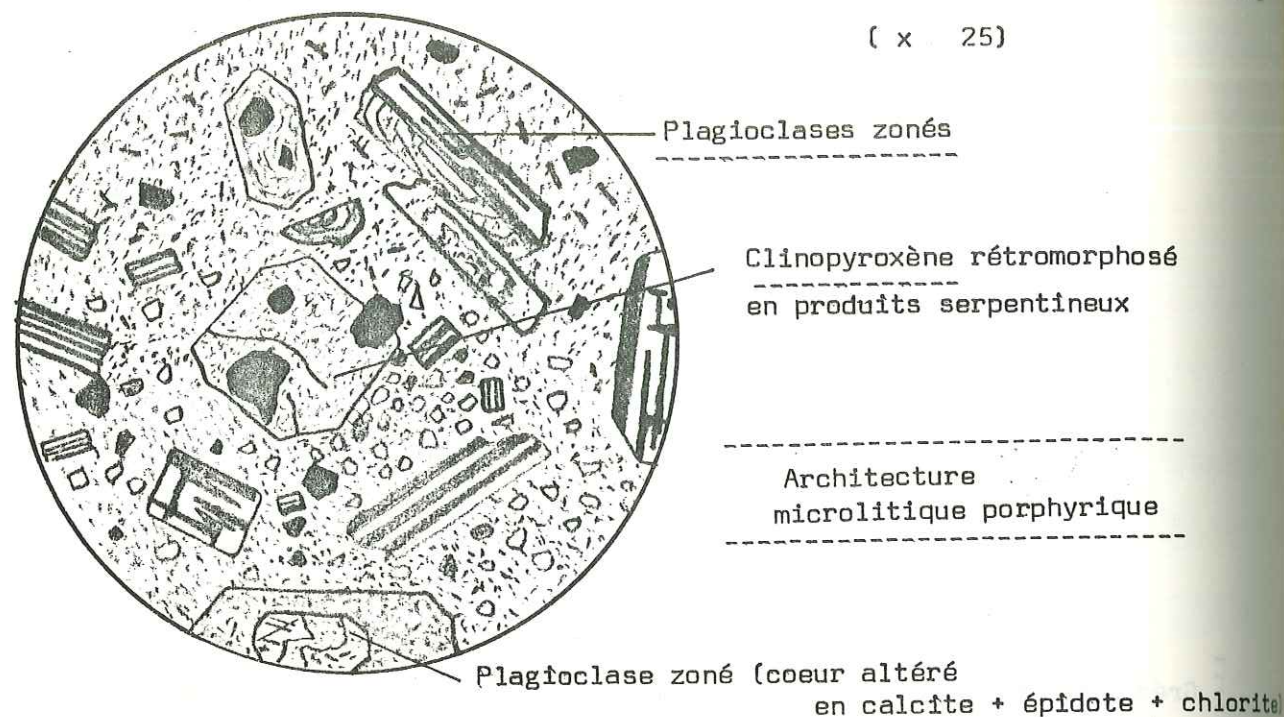
Figure 92 a



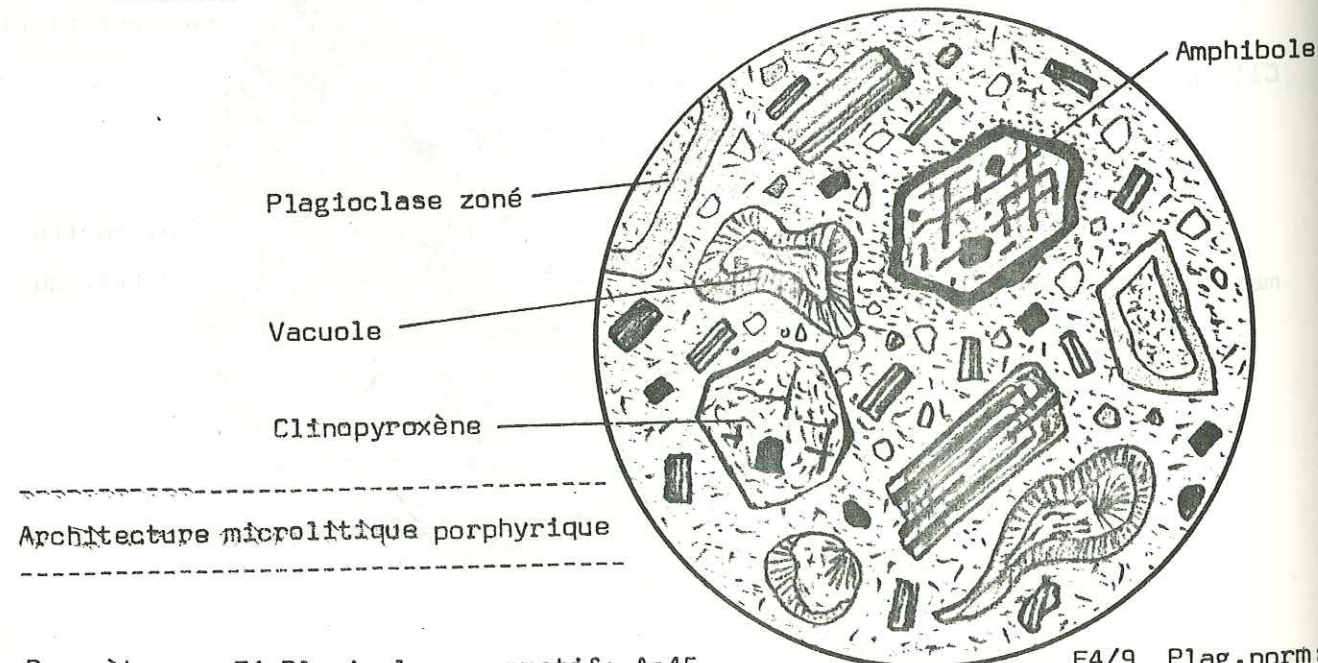
Architecture : volcano-sédimentaire



Andésite rétrotransformée à clinopyroxène Figure 92 b  
Localité type: Poste de Clumanc (Barrême) Ech E 4 Anal: 84 a



Andésite rétrotransformée à clinopyroxène et amphibole Figure 92 c  
Localité type: Poste de Clumanc (Barrême) Ech E 4/ 6 Anal: 84b



Paramètres : E4 Plagioclase normatif: An45  
(+) Indice de solidification : 11,3  
Indice de différenciation: 60

E4/9 Plag.norm: An 3  
Indice de solidification: 9  
Indice de différenciation: 55

(+) valeurs données uniquement à titre indicatif (ne pas prendre en considération en raison du degré d'altération de la roche)

### A 3) LA PROVINCE DU CHAMPSAUR.

#### A 3-1) Le métamorphisme alpin et le problème des spilites triasiques.

Les témoins du volcanisme andésitique paléogène sont conservés, dans les grès du Champsaur. Le métamorphisme alpin se traduit dans ces formations par des phénomènes de rétrotransforme des minéraux fémiques (en particulier dans les spilites) et par l'albitisation quasi-générale des plagioclases dans les fragments andésitiques.

Il est très difficile, dans les grès du Champsaur, de faire la part entre les produits de démantèlement des roches basiques triasiques et les témoins du volcanisme andésitique paléogène.

#### A 3-2) Le problème des mélanges sédiment-matériel andésitique.

L'observation des grès du Champsaur, riches en matériel volcanique, montre que le matériel andésitique se présente :

- \* sous forme de microgalets arrondis dont la taille n'excède pas 2cm, la surface du galet est généralement enduite de calcite ou de silice. Les cristaux de plagioclase sont alors tronqués au contact entre l'élément volcanique et l'encaissant sédimentaire.

- \* sous forme de fragments de taille identique, à contours diffus, pouvant passer en continuité avec le grès encaissant (Fig.93).

- \* sous forme de cristaux isolés d'augite ou d'amphibole intacts, ne montrant aucune trace d'abrasion excluant ainsi un long transport sédimentaire.

#### A 3-3) Les microbrèches.

Sur le versant occidental de la pointe Vénasque Sud affleure une roche détritique grossière à éléments peu arrondis, riche en matériel andésitique. Elle montre d'intéressantes analogies avec une roche que nous décrirons plus loin dans le synclinal de Thônes (Province Helvético-Savoyarde) sous le nom de faciès du Mont.

#### A 3-4) Les tuffisites.

Les grès du Champsaur montrent, localement (Col de la Pisse), des zones riches en filons rougeâtres, très souvent silicifiés. Ces filons s'apparentent aux tuffisites décrites par J. Didier et J. Lameyre (1978) dans le synclinal de Thônes. Cette observation confirme les conclusions de S. Boeuf (1957) selon lesquelles certains faciès des grès du Champsaur sont assimilables à des tufs volcaniques andésitiques.

L'étude géologique sur le terrain n'a pas permis de vérifier si ces roches correspondaient à une zone d'alimentation du volcanisme comme cela a été possible dans le synclinal de Thônes.



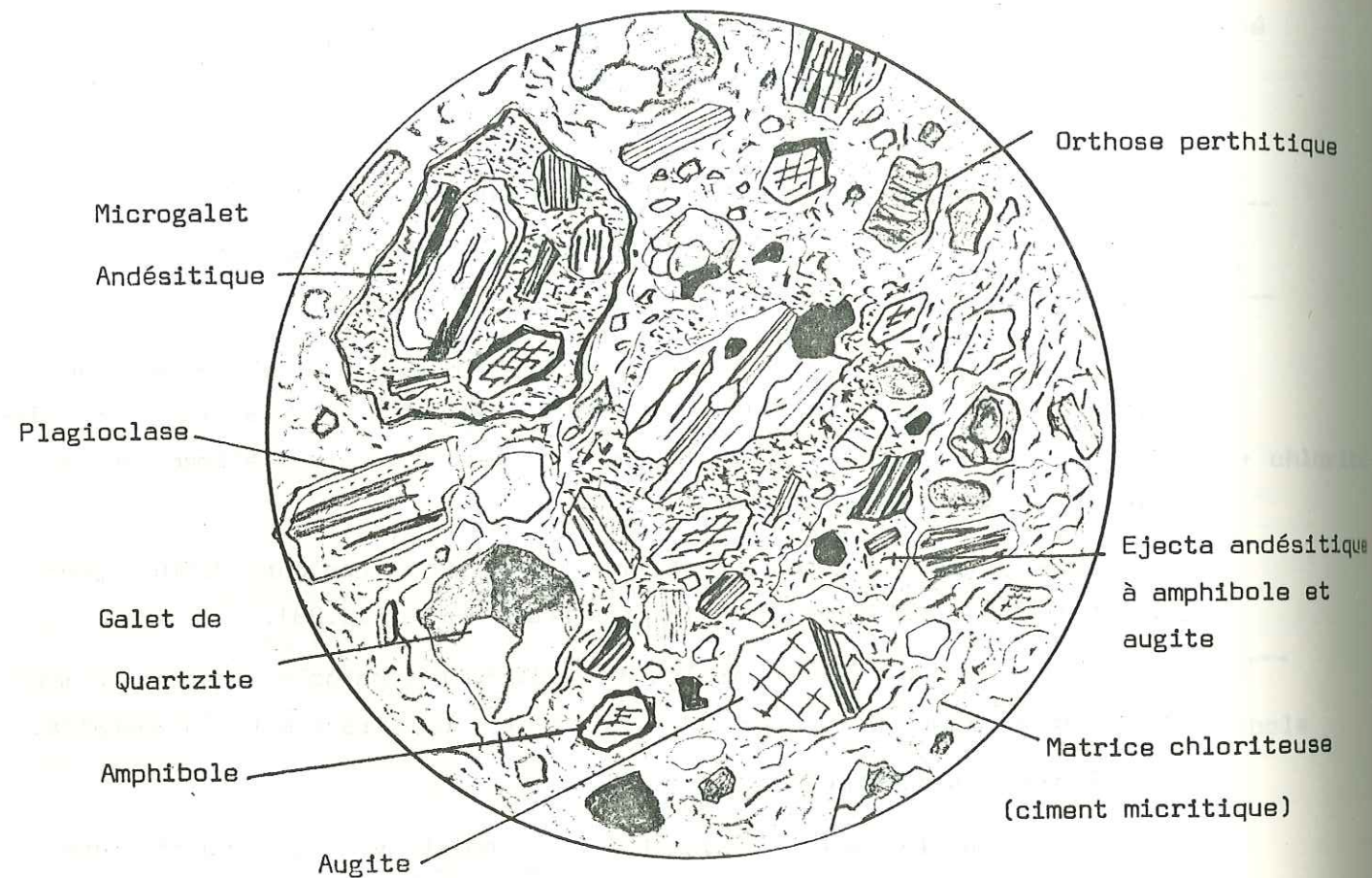
Grès riche en éléments volcaniques et contenant des ejecta

Localité de prélèvement : Col de Ryou Beyrou (Chaillool Vieux)

Figure 93

Ech.: P.L. 705

( x 25)



#### A 4) LA PROVINCE HELVETICO-SAVOYARDE.

##### A 4-1) Les grès riches en matériel volcanique.

Ils peuvent contenir jusqu'à 80% d'éléments andésitiques. Nous décrirons trois faciès significatifs, les deux premiers découverts dans le synclinal de Thônes et le troisième, déjà observé par J. Martini (1968) dans le secteur de Flaine l'Arbaron.

##### 4-1a) Le faciès grossier à micro-alternances (Faciès du Mont).

Les éléments volcaniques se présentent sous forme de microgalets emballés dans un ciment micritique contenant des cendres volcaniques et des éléments étrangers au volcanisme (Fig.94a & b). Le matériau est peu trié. Dans les lits fins prédominent les minéraux volcaniques (amphiboles, plagioclases zonés et pyroxènes).

On observe, au niveau de l'affleurement, d'importantes concentrations calcitiques.

##### 4-1b) Le faciès à plages sparitiques de calcite (Faciès du Mont).

On rencontre, fréquemment, dans les zones à forte concentration calcitique, des grès riches en éléments volcaniques contenant des poches calcitiques où la calcite se présente en larges plages sparitiques. Ces plages renferment, en outre, des cristaux d'amphibole et de plagioclase absolument automorphes (Fig.95). Il est probable que ces concentrations de calcite, associées aux minéraux volcaniques, correspondent à d'anciennes cavités parcourues par un mélange de gaz et de cristaux lors des explosions volcaniques, dans des portions non consolidées du sédiment. La présence de terriers de vers (G. Dardeau comm. orale, 1983) dans le grès semble confirmer cette hypothèse.

##### 4-1c) Les tuffites à ejecta vitreux (Faciès de l'Arbaron).

Les éléments andésitiques contenus dans ces tuffites ont une forme généralement fuselée. Les cristaux volcaniques (en particulier les plagioclases) font saillie à la périphérie des fragments andésitiques, contrairement à ce que l'on observe dans les galets contenus dans les conglomérats où les cristaux sont tronqués. Les fragments volcaniques vitreux montrent des phénomènes de mélange avec le sédiment. Les parties englobées du sédiment épousent souvent la forme sigmoïde des remous de fluidalité visibles dans le verre (Fig.96). Ces observations posent un problème, car on comprend mal que du verre andésitique, relativement visqueux, puisse ainsi engluier ou englober du sédiment. Seul un processus explosif permettant une intense pulvérisation du magma et son mélange avec des particules du sédiment non consolidé remises en suspension par l'éruption sous-marine semble pouvoir expliquer de telles structures.



Grès riche en matériel andésitique (Faciès du Mont)

Figure 94 a

( x 25)

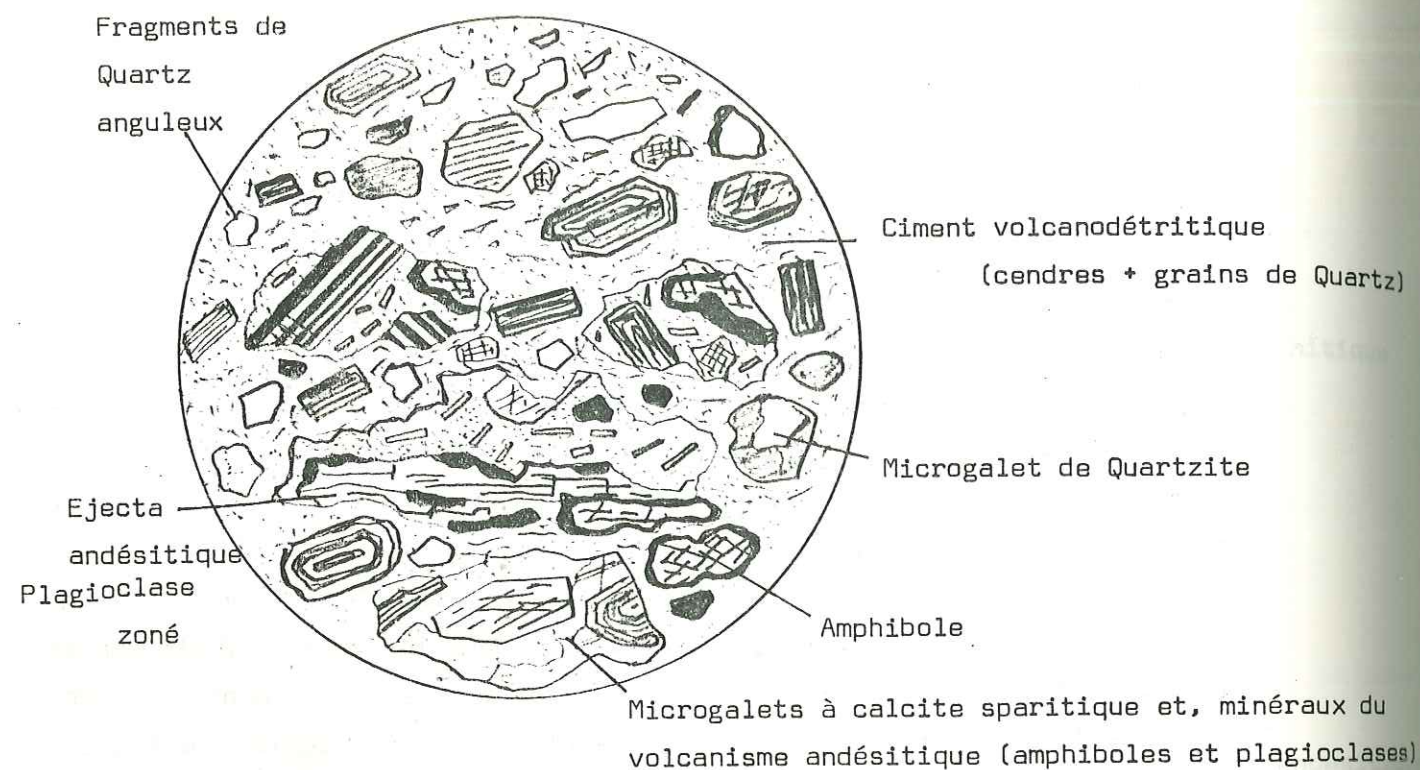
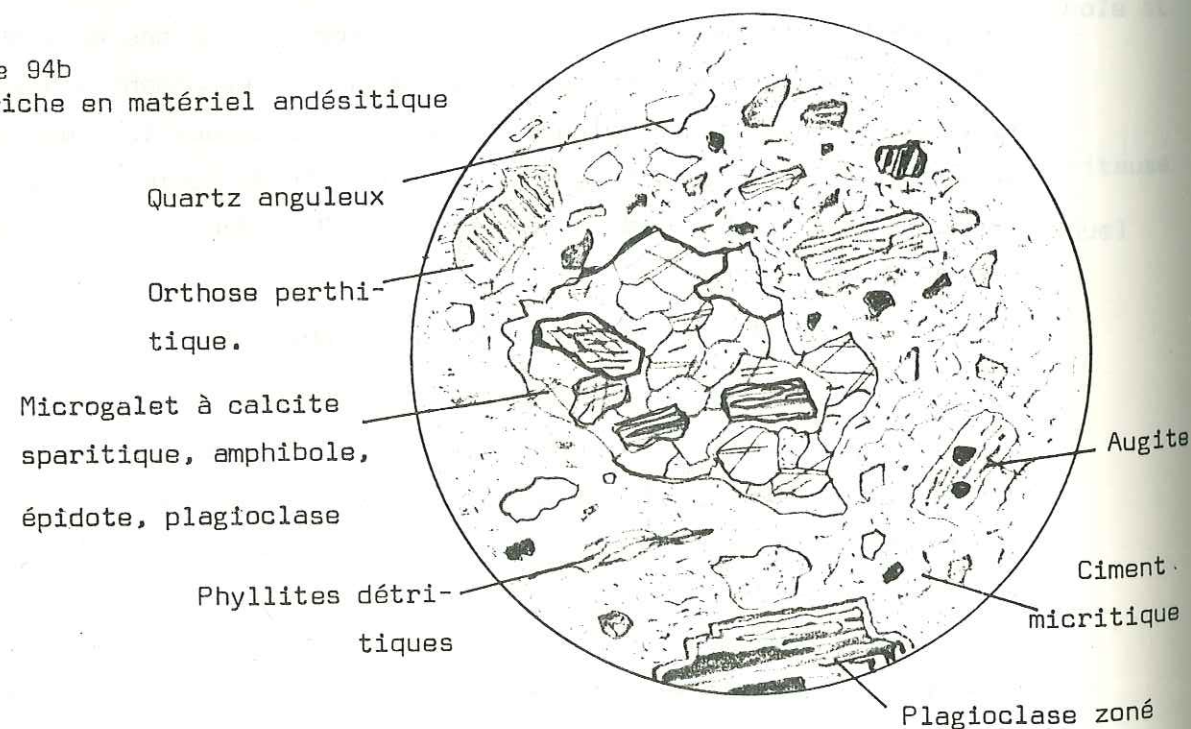


Figure 94b

Grès riche en matériel andésitique



#### A 4-2) Tuffisites et "sandstone dykes". (Fig.96).

Il est parfois difficile de différencier les tuffisites (filons de tufs intrusifs au sens de H. Closs, 1941) mises en évidence par J. Didier (1978) dans le synclinal de Thônes des dykes sédimentaires tels que ceux que l'on peut observer dans les flysch oligomiocènes de Sicile. Dans le cas des tuffisites de Thônes, les cristaux inclus dans le ciment cinéritique sont brisés. Le matériel volcanique prédomine. On note, en outre, la présence de fissures perpendiculaires aux épontes des filons de tuffisites et n'affectant que le filon. Il pourrait s'agir de prismations frustes apparues lors du refroidissement du tuf après son intrusion dans le sédiment. On n'a jamais signalé de telles fissures dans les "dykes sédimentaires" dont le matériau constitutif diffère sensiblement de celui des tuffisites. Les tuffisites du secteur de Mardassier présentent des analogies évidentes avec celles de la Limagne (G. Vitally, 1980). Il existe des dykes sédimentaires dans les grès de Taveyanne, en particulier dans le secteur du Crêt du Merle.

#### A 4-3) Les laves de la Province Helvético-Savoyarde.

##### 4-3a) Les ejecta vitreux (Fig. 97 & 98).

Il s'agit d'andésites à amphibole et clinopyroxène à structure hyalomicrolitique porphyrique. La mésostase vitreuse est entièrement chloritisée.

##### 4-3b) Les microgalets dans les grès riches en matériel volcanique (Fig.99).

Ils sont constitués de fragments d'andésites à clinopyroxène et hornblende et de dacites à hornblende. Leur faible taille rend difficile l'interprétation pétrographique. L'ensemble des observations tend à montrer l'uniformité des faciès et la prédominance des termes explosifs sur les termes effusifs.



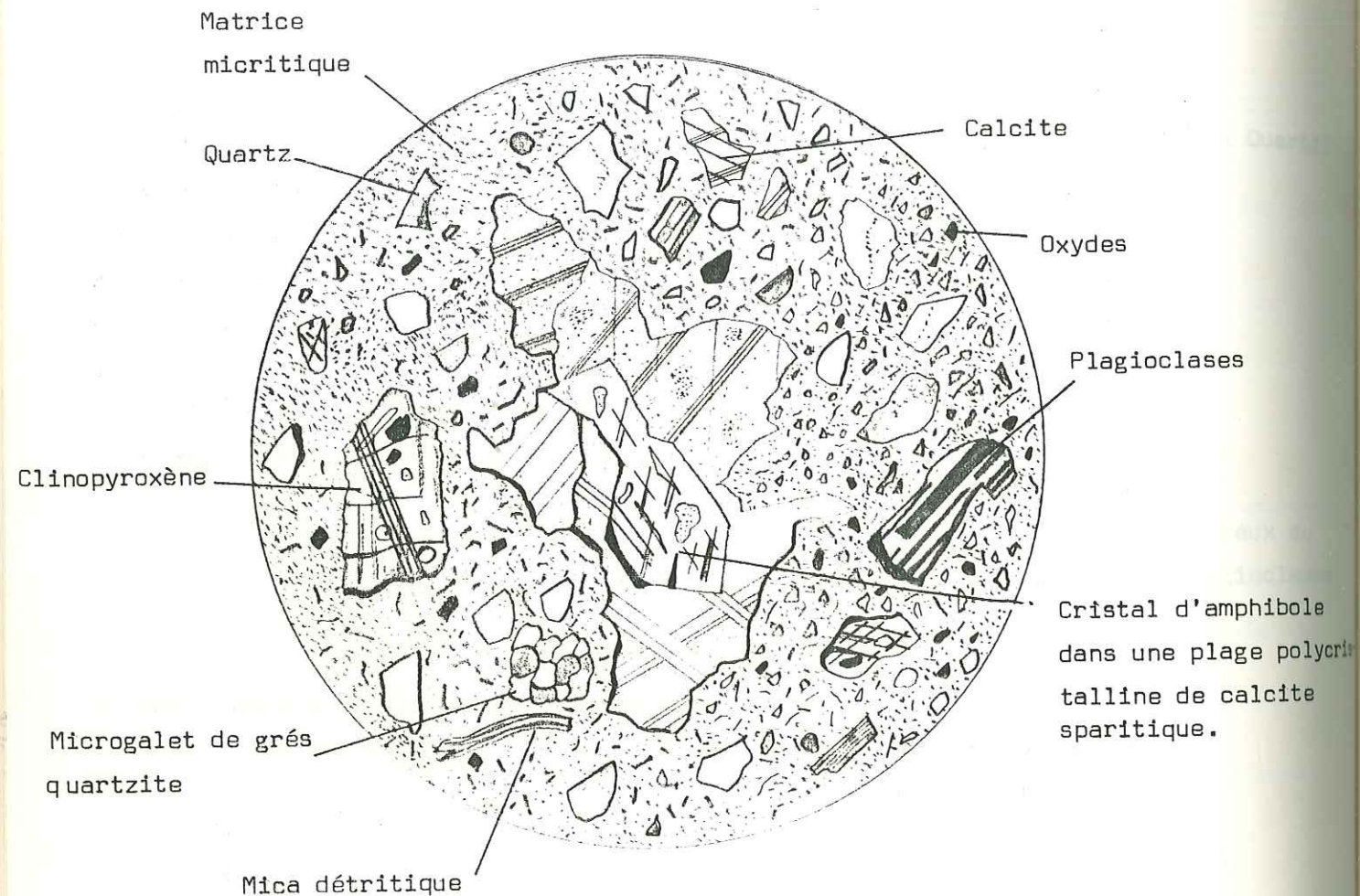
Figure : 95

Grès de Taveyenne riche en éléments volcaniques

Localité de prélèvement: Col de la Pierre Carrée (Région de l'Arbaron)

Ech. Ta 21

( x 25)



Architecture : Volcano détritique

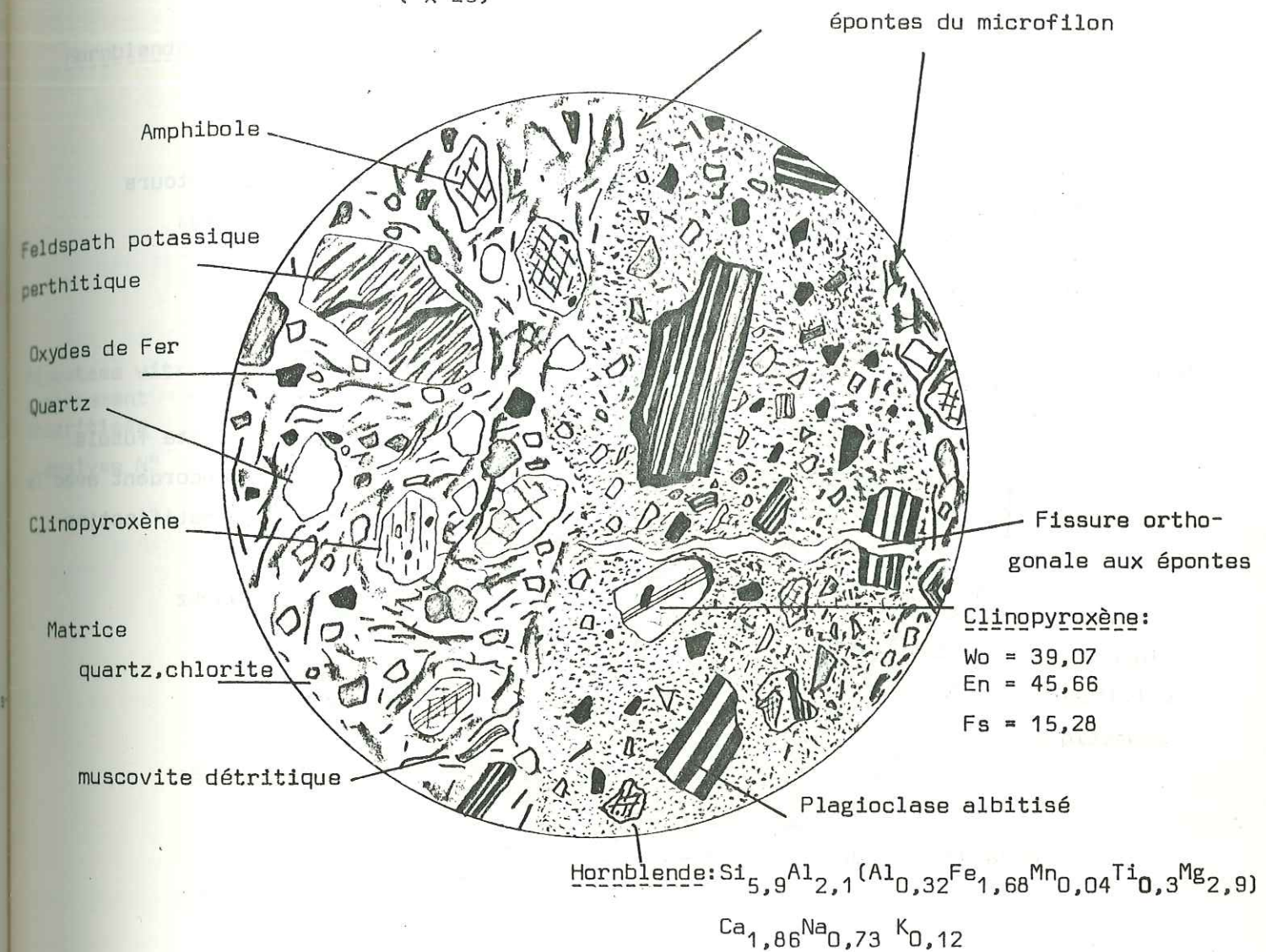
Microfilon de tuffisite dans un grès riche en éléments volcaniques

Localité type: Route du Col de Merdassier à La Croix Fry (La Clusaz)

Echantillon : Ta 3 Analyse : 123

Figure 96

( x 25)

Architecture : détritique pour le grès encaissant du filon  
pyroclastique pour le filon

Indice de solidification : 18

Indice de différenciation : 64

SiO<sub>2</sub> = 60,30

MgO = 2,78

Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O = 6,30

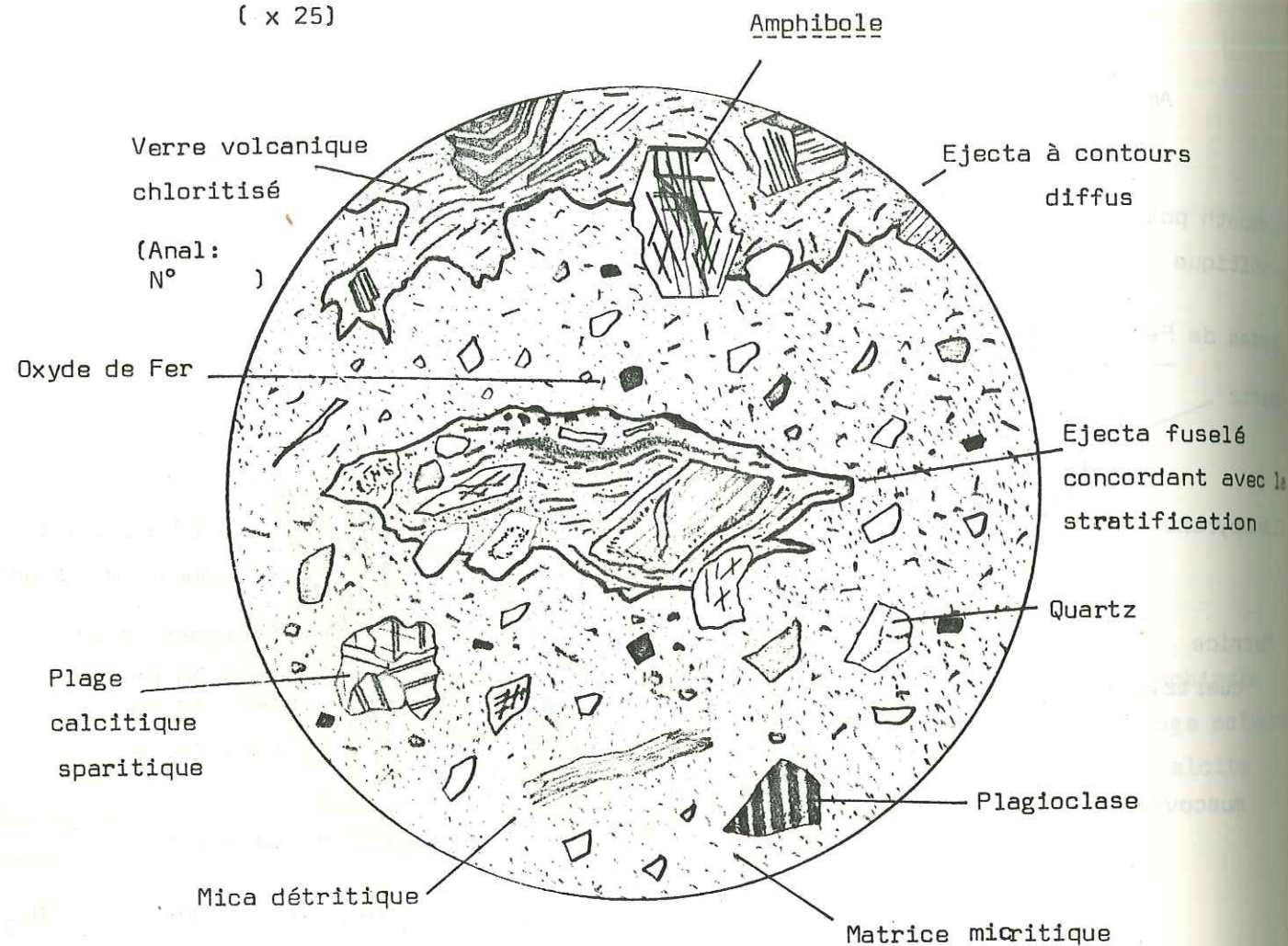


Figure 97

Grès riches en éléments volcaniques, et à éjecta andésitiques vitreux.

Localité type: Col de la Pierre Carrée (Gisement de l'Arbaron)  
Ech: Ta 21b

( x 25)



Architecture volcano - sédimentaire

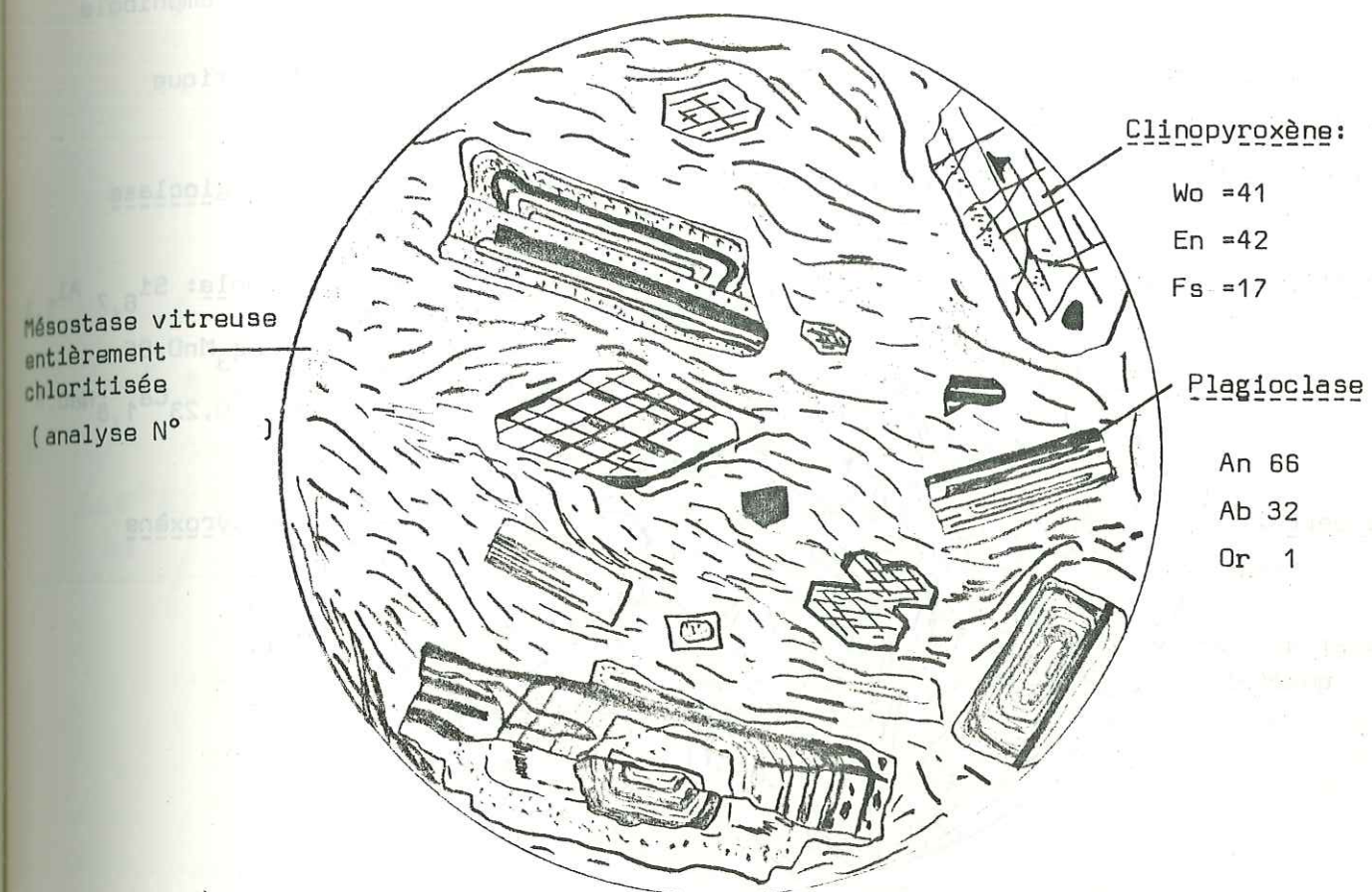
Andésite à clinopyroxène et amphibole

Localité type: Le crêt du Loup (La Clusaz) Ech.: G.T.53b Analyse N° 111

Figure 98

( x 25)

Hornblende:  $\text{Si}_{6,72} \text{Al}_{1,28} (\text{Al}_{0,77} \text{Fe}_{1,66} \text{Mg}_{3,01} \text{Mn}_{0,057} \text{Ti}_{0,23}) \text{Ca}_{1,85} \text{Na}_{0,636} \text{K}_{0,17}$



Architecture :

Hyalo - microlitique fluidale

Paramètres	Q= 0	A= 0	P= 100	(modal)
	Q= 0	A= 8,55	P= 91	(normatif)

Indice de solidification: 29

Indice de différenciation : 37

$\text{SiO}_2 = 48,10$

$\text{MgO} = 5,60$

$\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} = 4,70$



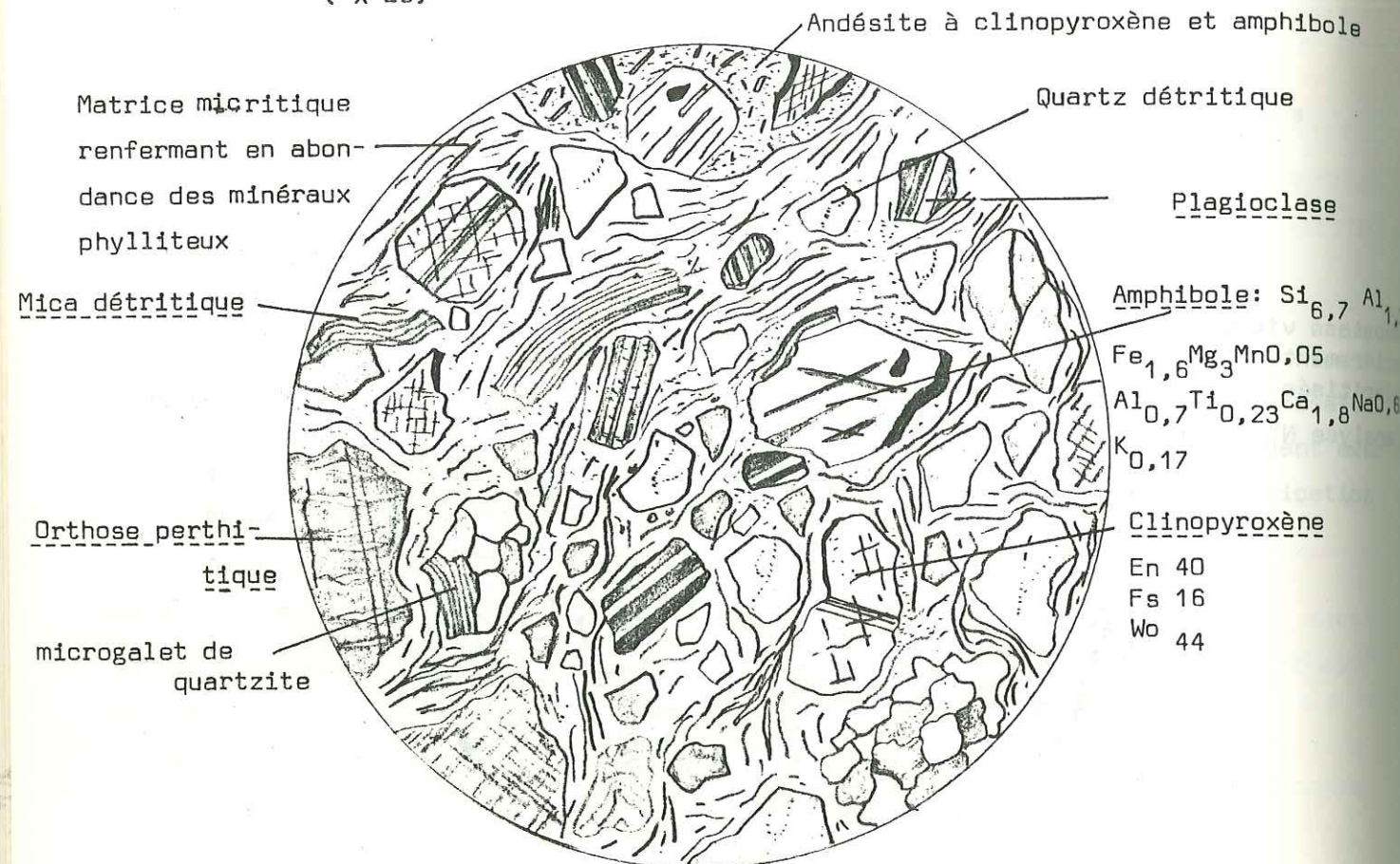
Figure 99

Grés riche en matériel volcanique

Localité type : Le Crêt du Loup (La Clusaz)

Ech: P.L. 543

( x 25)



Architecture : volcano - détritique

#### A 5) SIGNIFICATION DE LA DIVERSITE DES ROCHES OBSERVEES A L'ECHELLE DE L'ENSEMBLE DES PROVINCES PALEOGENES.

A 5-1) Représentation de la composition des roches volcaniques dans le diagramme de K. W. Wedepohl (1969) (Fig.100a à 100c).

Le choix de ce diagramme permet de représenter les roches partiellement cristallisées en ayant recours aux données de la norme C.I.P.W. Son utilisation implique, cependant, certaines réserves nécessaires lorsque l'on traduit des classifications modales en classifications chimiques (B. Bonin, J. Lameyre, 1982). L'apparition d'orthose normative dans ce type de laves fausse, évidemment, la définition exacte des termes pétrographiques.

#### A 5-2) Analogies et différences entre provinces.

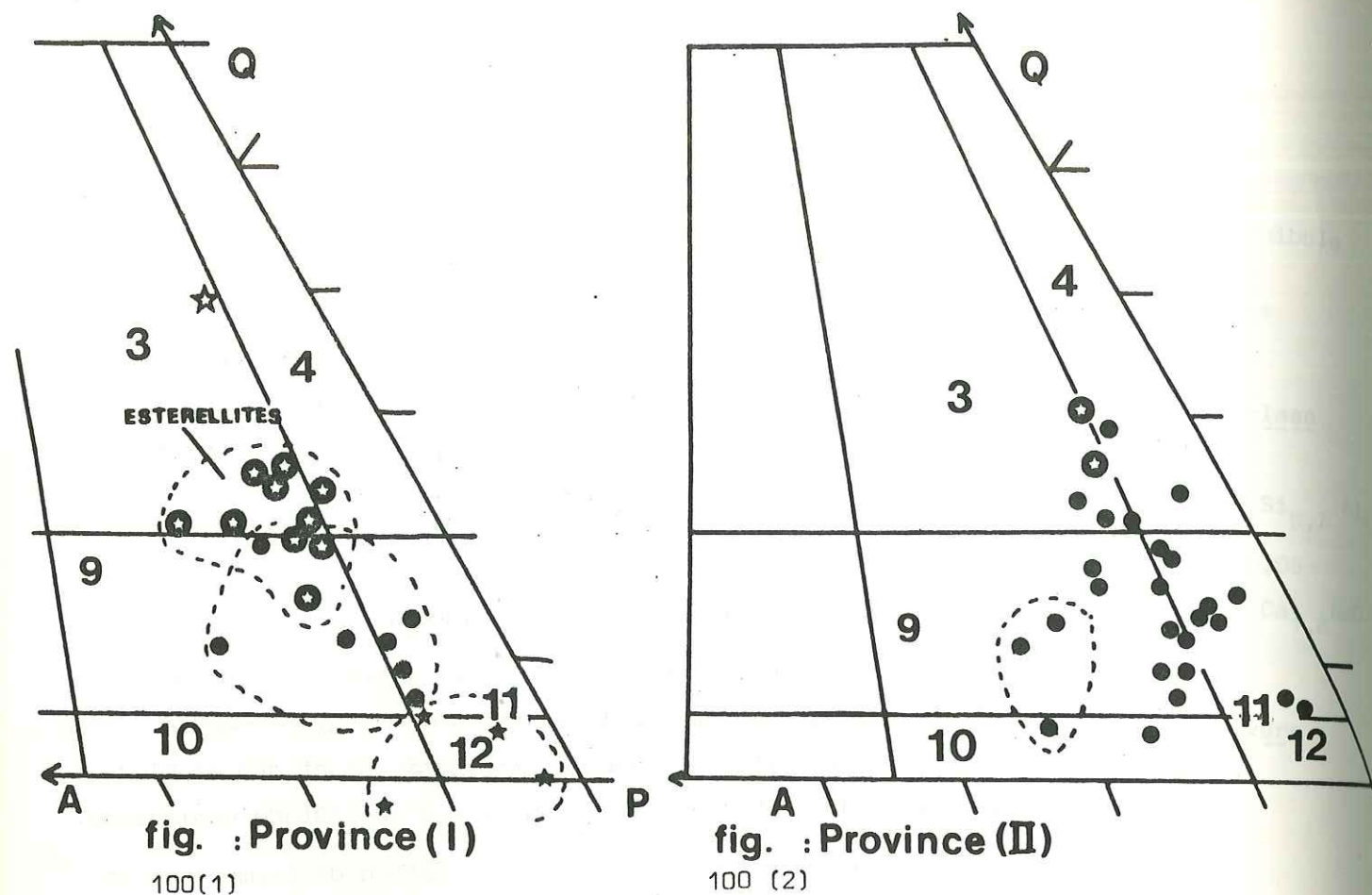
La Province Liguro-Provençale et la Province Sub-Alpine Méridionale sont les deux secteurs où le volcanisme paléogène semble s'être manifesté par l'émission de laves pétrographiquement comparables. Ces analogies avaient déjà été soulignées au niveau de l'étude géologique. Au sein de ces deux provinces on constate l'association de termes peu et moyennement alcalins et de termes plus alcalins à tendance shoshonitique. La Province Helvético-Savoyarde est la plus riche en laves potassiques. Les enclaves homogènes grenues prélevées dans les estérillites et les andésites ligures s'ordonnent sur le diagramme de Wedepohl suivant une lignée plutonique conforme au type peu potassique défini par J. Lameyre et P. Bowden (1982) (Fig.100a).

Signalons, enfin, qu'au niveau des provinces méridionales (Sub-Alpine et Liguro-Provençale) semble exister une filiation pétrographique conduisant de termes andésitiques basiques à des dacites et rhyodacites.

#### A 6) CONCLUSIONS.

- \* Les analogies pétrographiques et géologiques qui existent entre Province Liguro-Provençale et Province Sub-Alpine Méridionale permettent de regrouper ces deux provinces en un ensemble pluto-volcanique méridional.
- \* Les provinces septentrionales (Champsaur et Province Helvético-Savoyarde) seront traitées séparément, dans le prochain chapitre en raison de la difficulté d'interprétation pétrographique qui se pose au niveau des andésites du Champsaur.

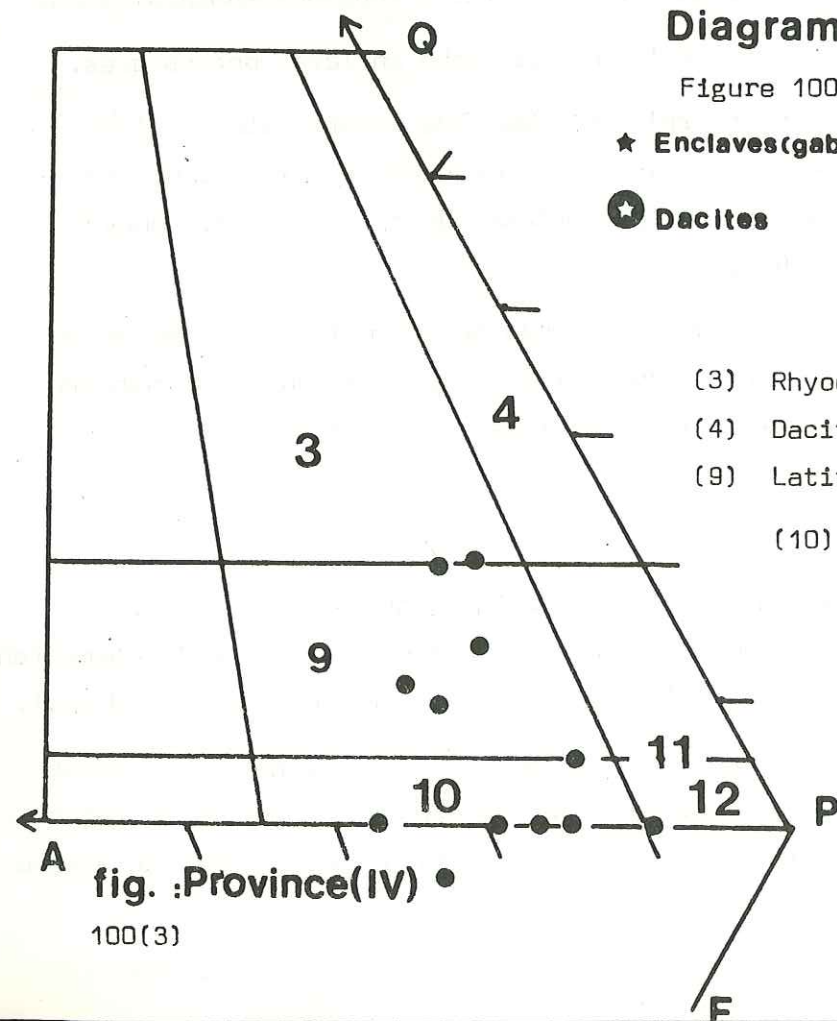




### Diagramme de WEDEPOHL

Figure 100

- ★ Enclaves (gabbro dioritiques) ● Andésites  
 ☆ Dacites ☆ Enclaves (trondhémite)



- (3) Rhyodacites  
 (4) Dacites  
 (9) Latite - Andésite  
 (10) Latite - Basalte  
 (11) Andésite  
 (12) Basalte tholéitique  
 Basalte à olivine

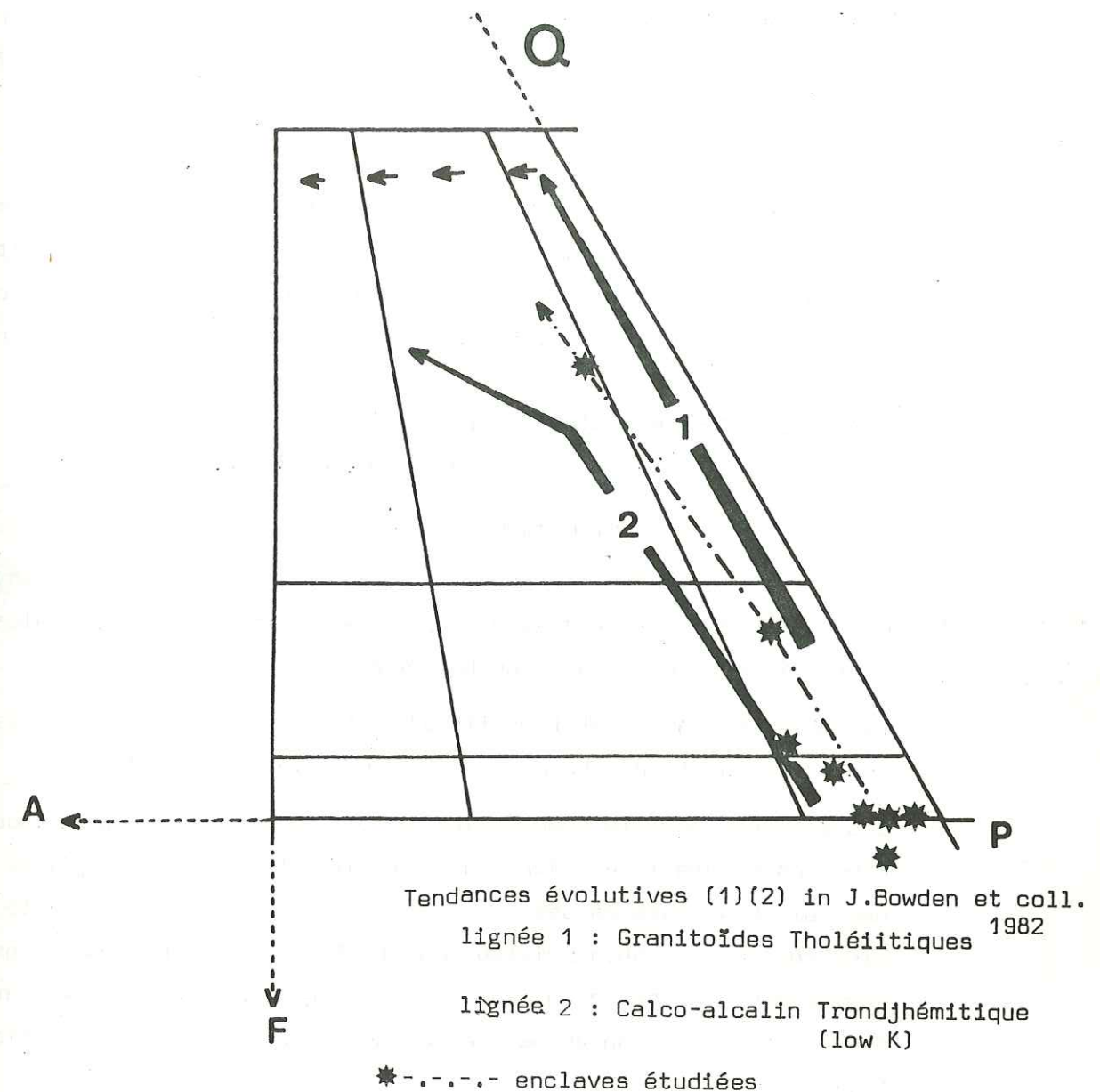


Figure 100 a : Diagramme de A.N. Streckeisen (mod. Wedepohl) pour les enclaves homogènes des laves des provinces méridionales



## B) MINÉRALOGIE ET CRISTALLOCHIMIE DES MANIFESTATIONS PLUTONIQUES ET VOLCANIQUES DU MAGMATISME PALEOGENE DES ALPES OCCIDENTALES.

### REMARQUE PRELIMINAIRE :

Les minéraux seront étudiés suivant l'ordre conventionnel : cardinaux, essentiels, accessoires. Nous réserverons, cependant, un chapitre au zircon dont l'étude, tant dans les volcanites, les plutonites que dans les formations volcano-détritiques s'est avérée riche d'enseignements.

### B 1) L'ENSEMBLE MERIDIONAL : PROVINCE LIGURO-PROVENÇALE ET SUB-ALPINE MERIDIONALE.

#### 1-1a) Les plagioclases.

Nous distinguerons, d'emblée, les phénocristaux invariablement zonés dans les termes pyroclastiques effusifs et hypovolcaniques des microcristaux de composition homogène.

Les phénocristaux sont très fissiles dans les andésites et possèdent d'intenses fissurations thermiques (S. Wilhelm et coll. 1978).

Les zonages, parfois spectaculaires, ont été étudiés par méthodes optiques dans les estérellites (J.P. Quin, 1965). Il semble, toutefois, que ce zonage ait plusieurs causes possibles. En effet, les études à la microsonde électronique des phénocristaux montrent, dans certains cas, une variation sensible de la teneur en anorthite suivant les zones alors que dans d'autres phénocristaux le zonage ne s'accompagne pas de variation chimique (S. Wilhelm comm. orale, 1979).

Dans les andésites, en revanche, le zonage est toujours accompagné de variations du taux d'anorthite des différentes zones.

Nous ne présentons pas d'étude approfondie du phénomène de zonage. Les échantillons, confiés à S. Wilhelm, sont à l'étude. Nous retiendrons uniquement les différents types d'associations entre phénocristaux zonés et microcristaux dans les laves et les pyroclastites soudées, ainsi que dans les manifestations hypovolcaniques (Fig. 101). Les phénocristaux à zonage conforme (richesse en anorthite décroissante du centre à la périphérie) accompagnent des microcristaux dont la basicité est proche de celle qui est mesurée sur le dernier front de croissance des phénocristaux se trou-

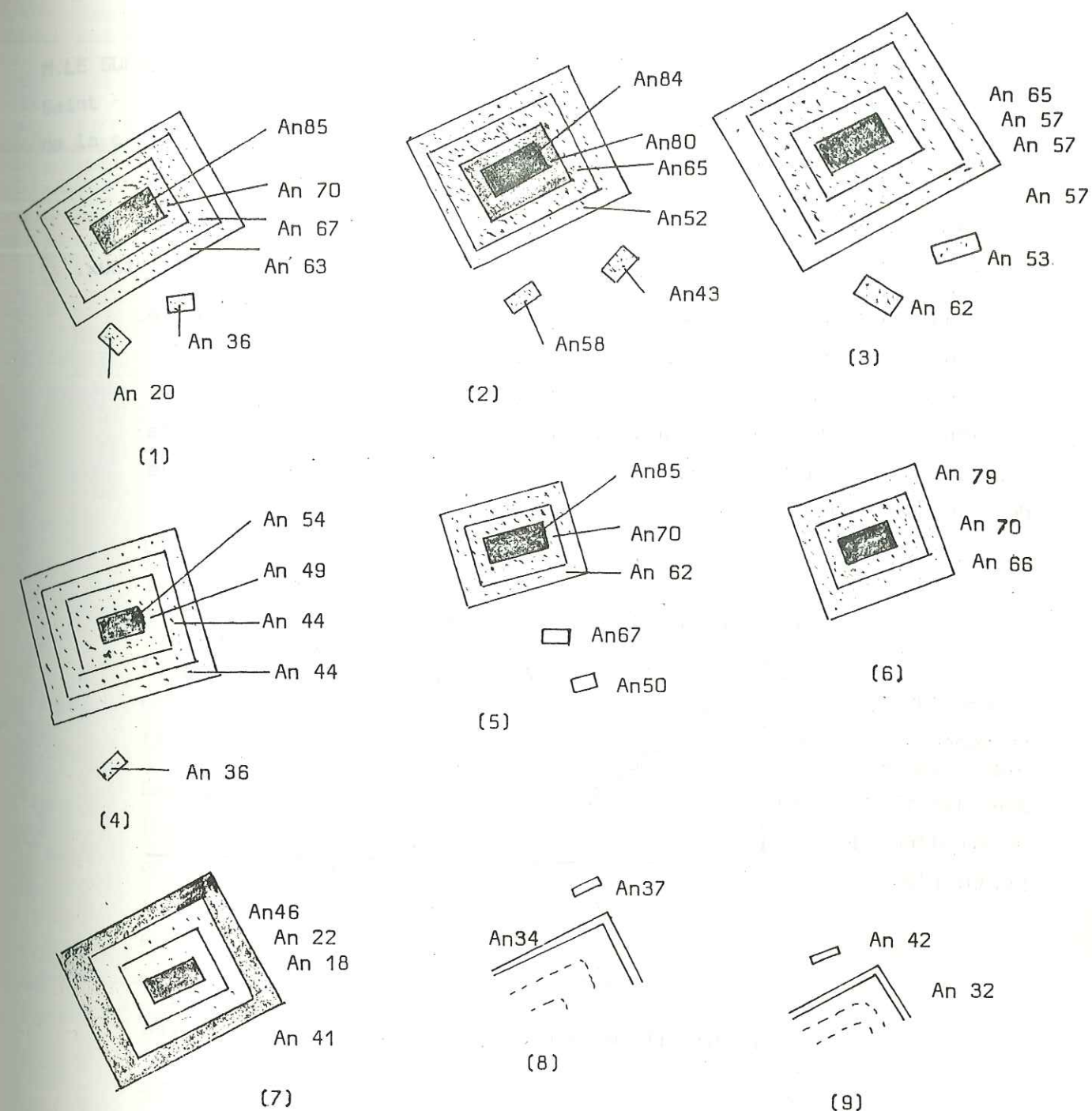


Figure 101 : Zonage des plagioclases

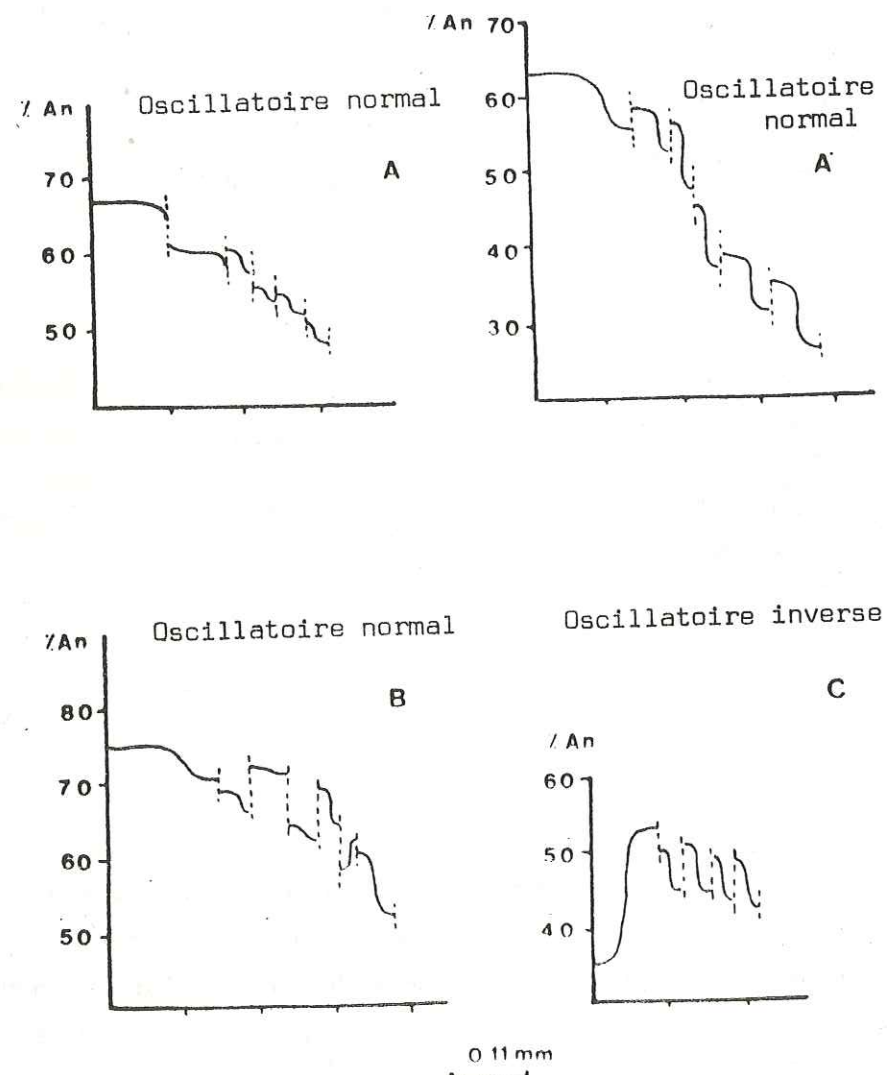
(1) Phénocristal zoné (Zonage conforme): Brèche volcanique de la vanade. Composition discordante des microcristaux soudés. (2) Phénocristal zoné (Zonage conforme), Brèche volcanique Saint-Antonin (composition discordante des microcristaux soudés). (3) Zonage conforme, composition concordante des microcristaux (Brèche soudée Biot). (4) Zonage conforme et composition concordante des microcristaux (Andésite à olivine et deux pyroxènes, Tourrettes sur Loup). (5) Zonage conforme et composition concordante des microcristaux (andésite semi-vésiculée Biot). (6) Zonage conforme, (andésite de la Villa Maure). (7), zonage oscillatoire (Estérellite) (8), (9) concordance entre la basicité des derniers fronts de croissance et les microcristaux (Estérellite)



vant dans les andésites et dacites à l'exception des cumulats plagioclasiques. Les phénocristaux à zonage conforme associés à des microcristaux à composition discordante s'observent surtout dans les pyroclastites soudées, mais il ne s'agit pas d'une corrélation générale. En effet, certains stufs soudés montrent une concordance entre la composition du dernier front de croissance des phénocristaux et celle des microcristaux.

Les études à la microsonde électronique confirment ces types de zonage. Les zonages les plus complexes correspondent aux laves de la Province Sub-Alpine Méridionale. Dans les estérillites et les andésites ligures les zonages oscillatoires sont plus rares et le dernier front de croissance des phénocristaux montre une basicité sensiblement égale à celle des microcristaux.

Figure 102:  
Le zonage des  
plagioclases  
dans les laves  
du synclinal de  
St. Antonin



M. LE GUERN (1979) a montré que les phénocristaux de plagioclase zoné des laves de Saint - Antonin montraient trois tendances dominantes de zonage définies à partir de la classification de F. HOMMA (1932), Figure 102

- La tendance oscillatoire normale: décroissance de la basicité du phénocristal du coeur vers la périphérie (zonage conforme)
- La tendance oscillatoire inverse qui n'intéresse qu'une portion du phénocristal (C. ALSAC et coll. 1969). Citons en exemple un phénocristal dont les premières zones évoluent de An 35 à An 95.
- La tendance oscillatoire ondoyante montre un passage progressif du coeur vers la périphérie du cristal en une succession de zones riches et pauvres en anorthite.

La cristallogénie des plagioclases des provinces méridionales montre une large distribution des teneurs en anorthite (An 85 à An 15) visible sur le diagramme Or - Ab - An (Fig. 103). Si l'on se reporte au diagramme  $K_2O$  - An % (Fig. 104) on peut remarquer que, pour une même valeur du pourcentage en Anorthite (An %) les plagioclases peuvent renfermer des quantités de potassium variables.

Certaines roches de la Province Liguro-Provençale sont des shoshonites (cf. Chapitre Pétrogenèse). Dans ces roches les plagioclases sont riches en  $K_2O$ . Il existe dans la même province, des andésites faiblement ou moyennement potassiques. Le plagioclase de ces roches contient moins de Potassium que celui des shoshonites. Dans le cas de la Province Méridionale du Pérou (Ch. Lefèvre, 1979) ainsi que dans le cas de la Province de Biellese (Piémont) (G.V. Dal Piaz, 1979) les plagioclases des shoshonites et des roches "ultra potassiques" renferment de même, plus de potassium que les équivalents andésitiques légèrement potassiques.

Il semble que l'on puisse utiliser le diagramme  $K_2O$  - An % pour différencier, au sein d'une même province, des plagioclases de même basicité renfermant des taux variables de  $K_2O$ .

Il serait intéressant de rechercher systématiquement dans les provinces volcaniques où sont associées roches shoshonitiques et andésites peu potassiques s'il existe effectivement une relation entre la teneur en K du plagioclase et celui de la roche hôte.



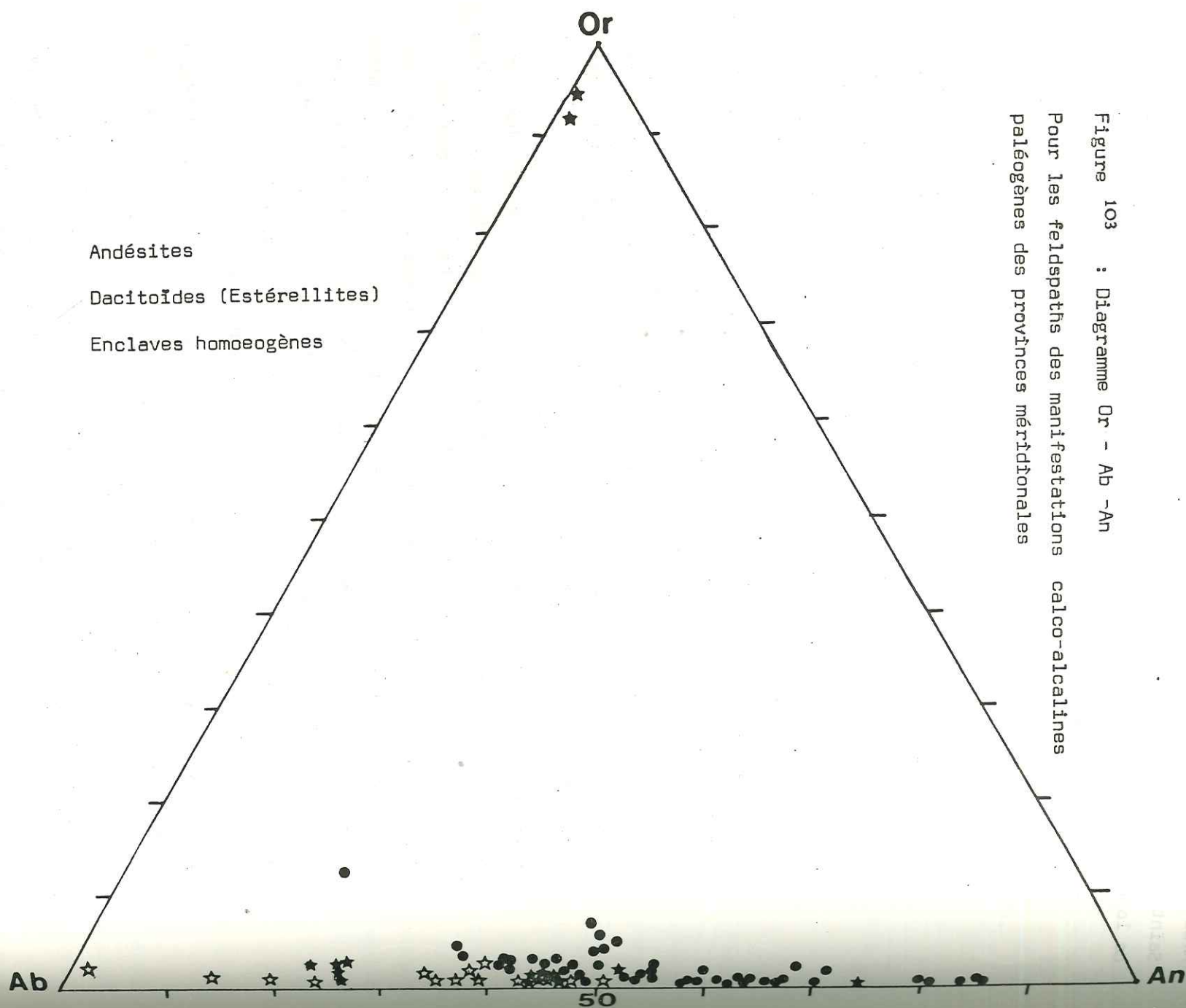
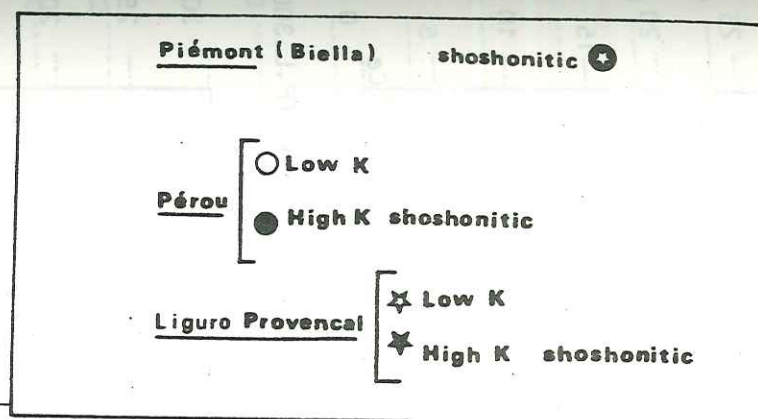
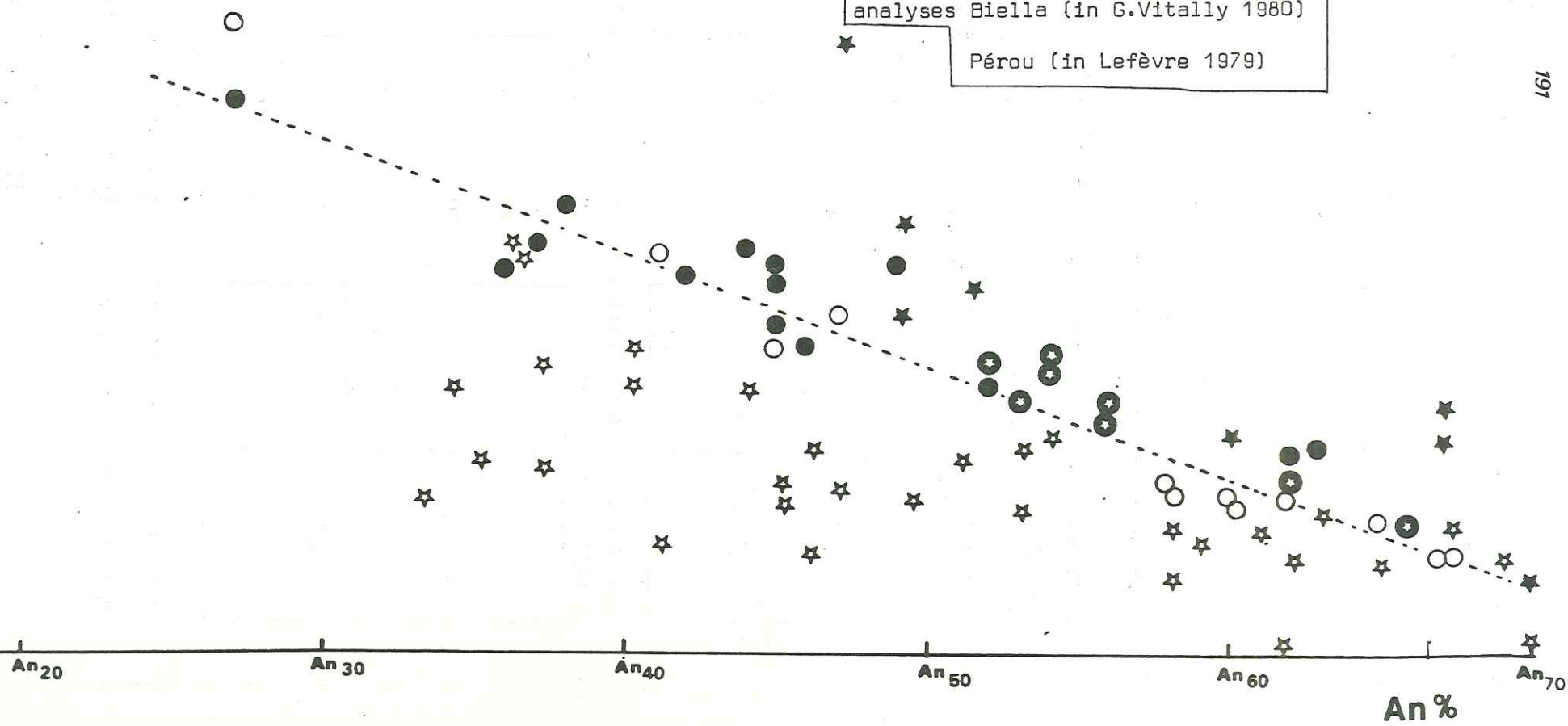


Figure 104 : diagramme  $K_2O$  / An % dans les plagioclases  
de roches andésitiques et shoshonitiques

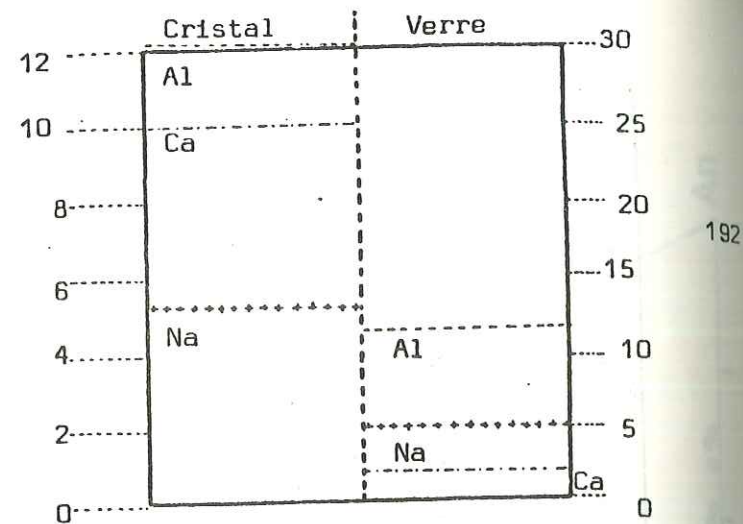
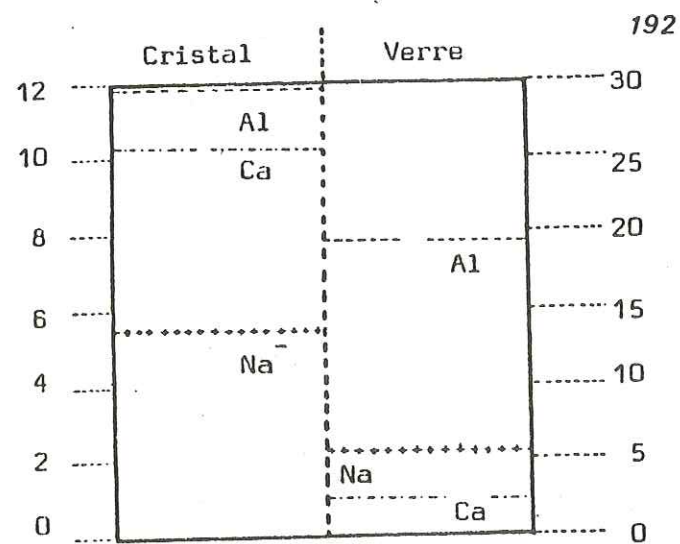


analyses Biella (in G.Vitally 1980)

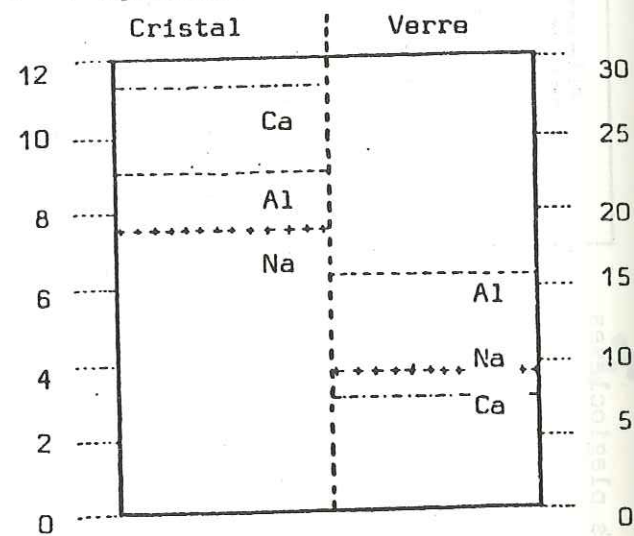
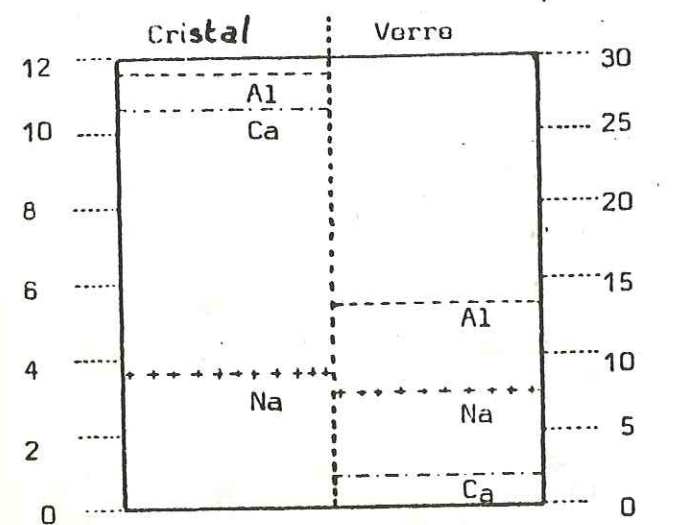
Pérou (in Lefèvre 1979)





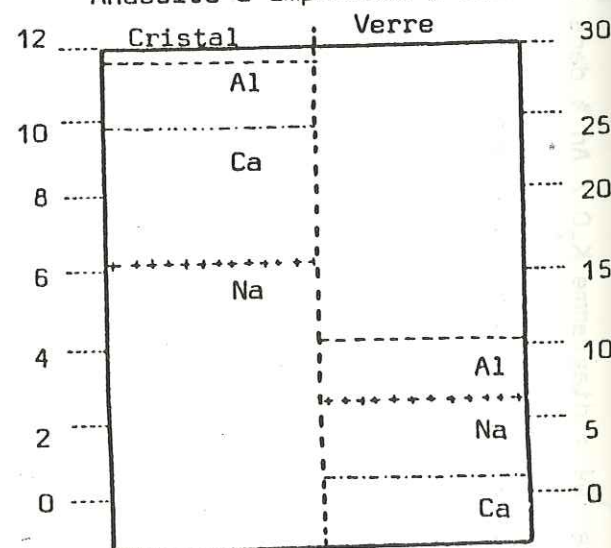
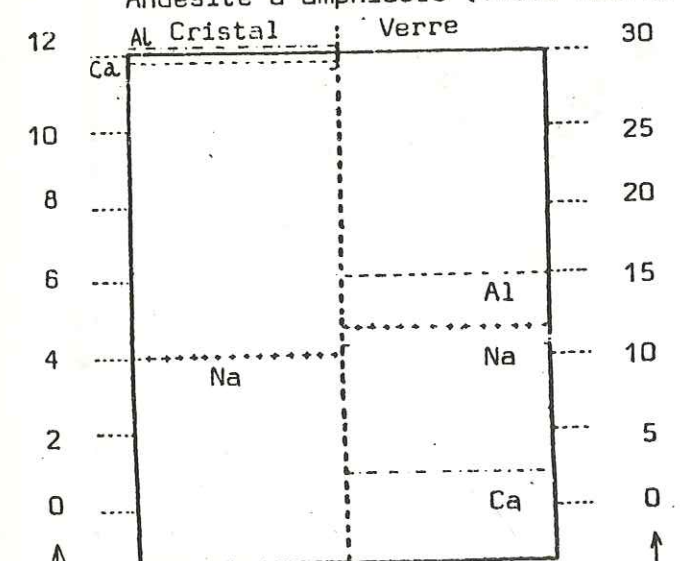


Andésite à deux pyroxènes et olivine (P.L.1) Pyroclastite andésitique (P.L.300)



Andésite à amphibole (Villa Maure)

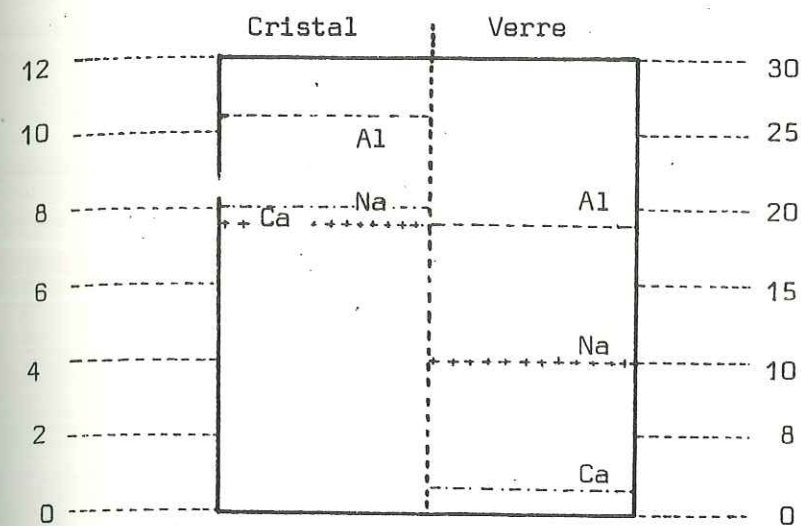
Andésite à amphibole (P.L.237b)



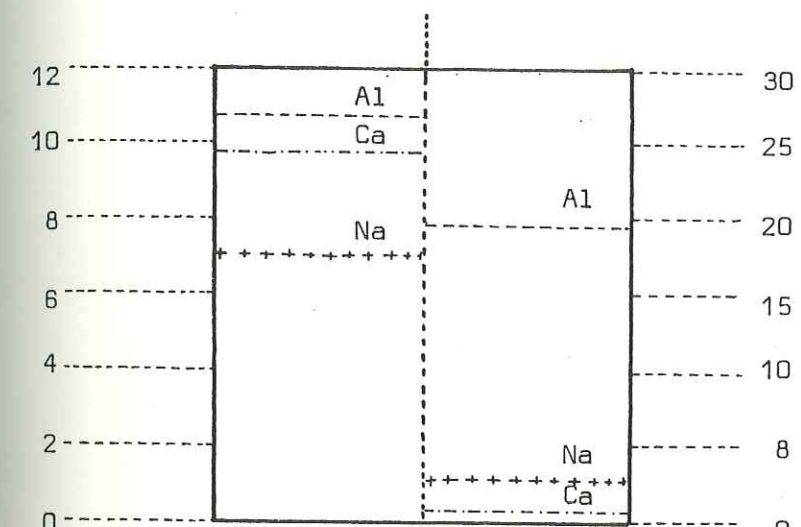
Dacite à amphibole (P.L.260)

Figure 105 (1)

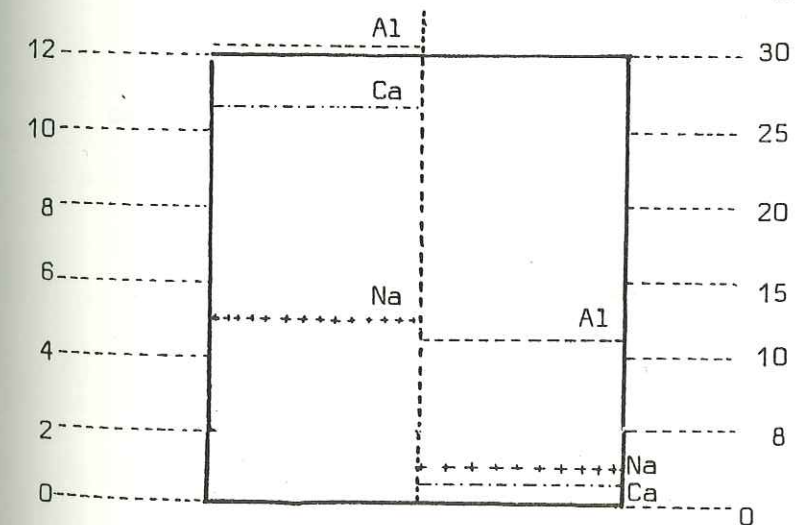
Variation des éléments majeurs  
au contact Verre:Plagioclase



Dacitoïde : Estérel  
Faciès à pyroxène et  
amphibole (Les Cou)



Dacitoïde : Estérel  
Faciès à amphibole  
(Le Drammont)



Pyroclastite soudée  
(contact cristal - gaine  
vitreuse) Saint-Antonin  
(P.L. 256)

Figure 105 (2)

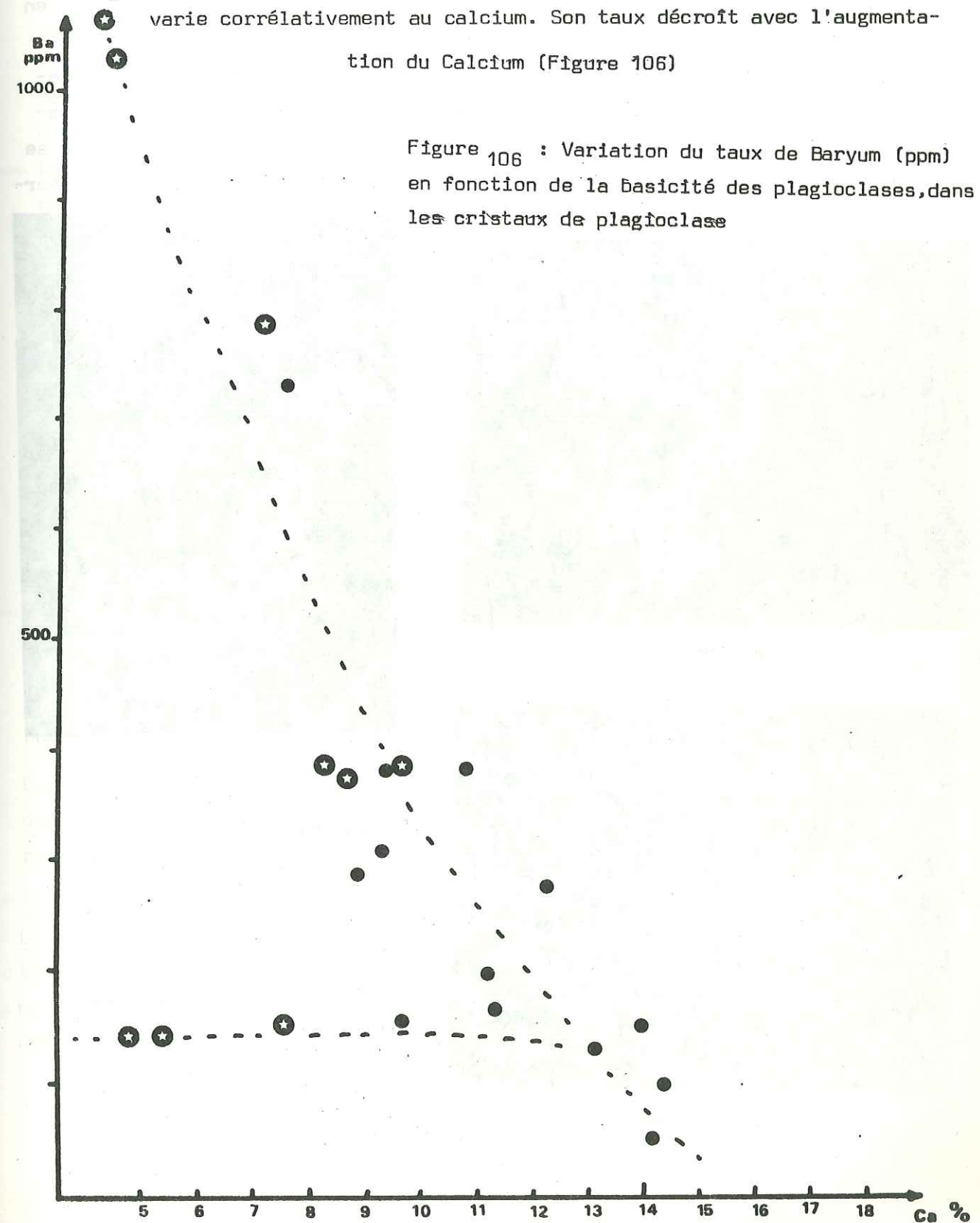
Variation des éléments majeurs au contact  
Verre : Plagioclase



Nous avons étudié les variations de composition en Al, Ca et Na (exprimés en pourcentages d'oxydes) au contact entre plagioclase et verre volcanique. Les teneurs en ces éléments sont généralement plus faibles dans le verre qu'au niveau du dernier front de croissance des feldspaths (Fig. 105a à 105i).

Nos observations sont en accord avec les travaux de Y. Bottinga et coll (1966).

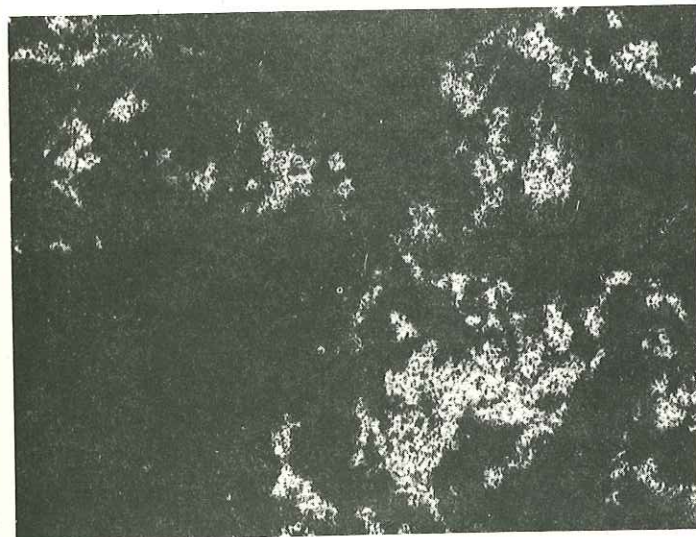
Les éléments de transition ne montrent aucune tendance d'évolution significative lors de la variation du taux en Anorthite du plagioclase. Seul le baryum varie corrélativement au calcium. Son taux décroît avec l'augmentation du Calcium (Figure 106)





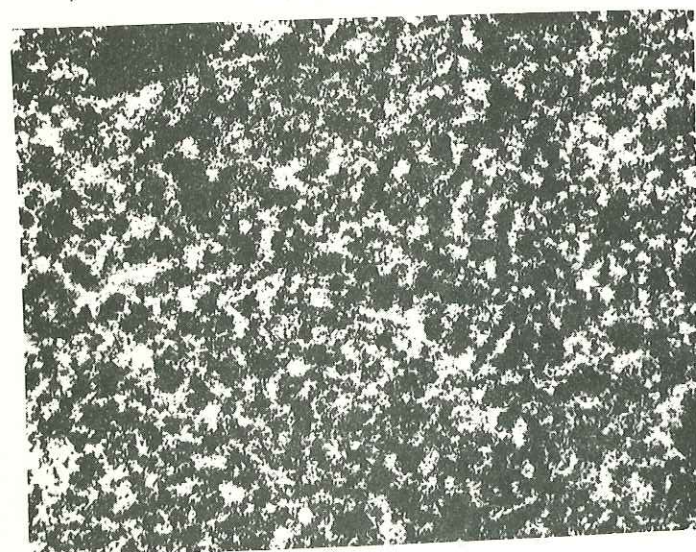
## 1-1b) Les feldspaths potassiques.

L'orthose est présente uniquement dans les enclaves homogènes trondhjémiques que l'on rencontre dans l'estérellite. J.C. Baubron (1975) avait décrit des franges d'anorthose à la périphérie des phénocristaux de plagioclase de l'estérellite. Nous n'avons jamais retrouvé ce minéral dans un tel contexte. Il est probable que les observations à la microsonde effectuées, très proches du contact plagioclase-verre, aient été faussées par le fait que les verres de l'estérellite étant très riches en potassium l'analyse obtenue à l'interface soit en fait l'analyse d'un mélange d'oligoclase et de verre alumineux et potassique. Les images en balayage effectuées sur la microsonde au niveau des verres riches en potassium montrent que cet élément atteint des teneurs élevées mais qu'il ne se répartit pas préférentiellement dans des feldspaths potassiques même interstitiels (Fig.107).



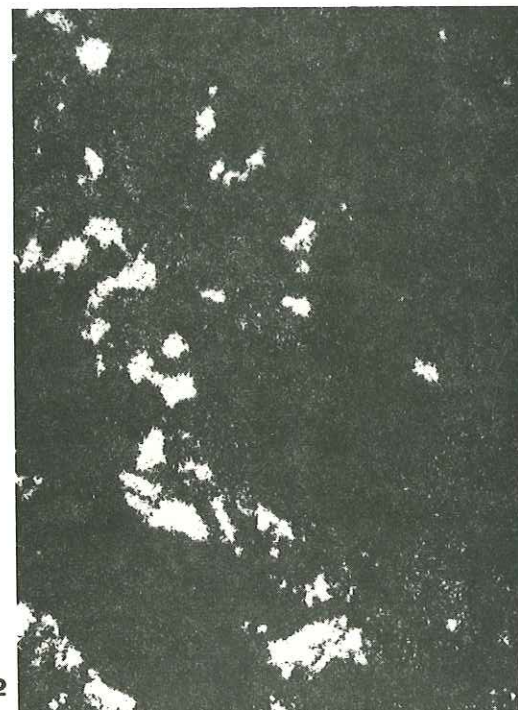
1

Les Cou



3

Pierre Levée



2

Le Drammont

Topographie du Potassium  
dans le verre interstitiel  
des dacitoïdes de  
l'Estérel.

Figure 107

Grossissement  
A 400 (x)

## 1-1c) Le quartz.

Il est présent sous forme interstitielle dans les dacitoïdes du massif de l'Estérel. Dans certaines estérellites riches en silice (rhyodacitoïdes) le quartz apparaît sous la forme de phénocristaux automorphes.

Les trondhjémites associées aux dacitoïdes (enclaves homoéogènes) renferment environ 20% de quartz. La microdiorite quartzique holoplagioclasique du point coté 90,2 (Estérel central) renferme des quartz automorphes bipyramidés pouvant dépasser la taille de 1cm.

Dans les andésites et dacitoïdes de la Province Sub-Alpine Méridionale le quartz est absent à l'état de phénocristaux ou de plages interstitielles dans la mésostase. Seules quelques silicifications secondaires (calcédoine fume-rolienne) s'observent dans les laves.

## 1-1d) Les pyroxènes.

Ils constituent, avec les plagioclases, l'espèce minéralogique la plus répandue dans les andésites basiques, andésites et dacites.

Le pyroxène est présent sous la forme monoclinique (C P X) ou la forme orthorhombique (O P X). Ces deux formes co-cristallisent fréquemment et permettent d'estimer des paléotempératures de cristallisation (voir Pétrogenèse).

Les pyroxènes monocliniques sont des augites à tendance salitique. Leur composition est caractéristique des magmas calco-alcalins (C. Coulon, 1977).

Les enclaves homoéogènes gabbroïques et dioritiques contiennent des clinopyroxènes reliques au cœur des cristaux d'amphibole. Il s'agit d'augites pauvres en calcium (Fig.108).

On ne note pas de variation sensible de composition chimique entre les phénocristaux de clinopyroxène et les microcristaux.

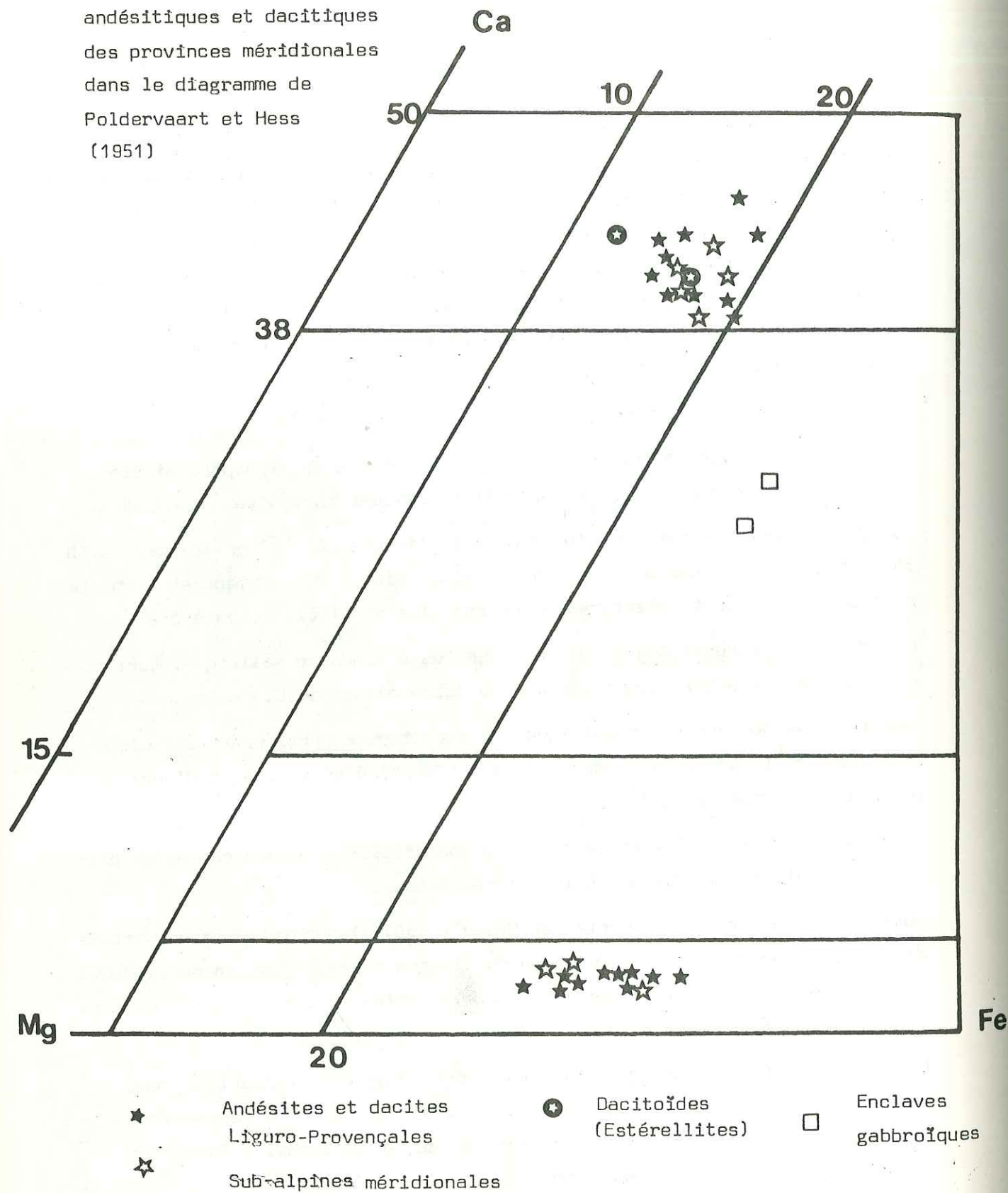
Dans les diagrammes de Leterrier et Maury (1980), les points représentatifs des clinopyroxènes occupent le champ faiblement alcalin dans un domaine qui recouvre les basaltes de marge continentale active et les laves d'arcs insulaires (Fig.109).

Les pyroxènes orthorhombiques sont des hyperstènes qui évoluent en composition de Fs.28 à Fs.36. Dans les andésites basiques, l'O P X montre fréquemment, au contact avec la mésostase, une auréole réactionnelle formée de  
C P X :  $Wo_{43}En_{44}Fs_{13} \rightleftharpoons Wo_{3}En_{67}Fs_{30}$



108

Fig: Les pyroxènes des laves andésitiques et dacitiques des provinces méridionales dans le diagramme de Poldervaart et Hess (1951)



Les analyses chimiques des pyroxènes étant fournies par la microsonde électronique, le taux de fer trivalent a été estimé par la méthode empirique de calcul de Hamm et Vieten (1971).

Les éléments de transition montrant un comportement significatif durant l'évolution magmatique sont :

\* Le titane : dont le taux, à l'intérieur du clinopyroxène, décroît avec l'augmentation du taux de silice dans la roche hôte (Fig.110). La valeur de  $Al_t - Ti$  semble mal corrélée à Si (Fig.111).

\* Le couple Co - Ni : montre une décroissance régulière du centre vers la périphérie des phénocristaux.

\* Le couple Fe - Zn : l'évolution du rapport Fe/Zn est fonction de la quantité de fer divalent, ceci en raison de la facilité de substitution de ces deux éléments dans le réseau des silicates (K.H. Wedepohl, 1969).

#### 1-1e) Les olivines.

L'olivine est peu abondante. On ne la trouve que dans les andésites basiques de Tourrettes-sur-Loup (P.L.1).

Il s'agit d'une olivine riche en Forstérite (Fo 63 à Fo 70).

Elle ne montre pas de réaction avec la mésostase. Elle cristallise dans les premiers stades du fractionnement et enclave, souvent, des phénocristaux de magnétite automorphe.

Son équilibre dans le verre andésitique sera envisagé plus loin (chapitre Pétrogenèse) et permettra d'estimer la valeur de la fugacité d'oxygène dans le liquide andésitique.

L'olivine est présente dans certains blocs du lahar de la Villa Maure mais, dans cette roche, elle est entièrement transformée en serpentine.



Figure 109 : Diagramme de Leterrier et Maury pour les clinopyroxènes des laves andésitiques et dacitiques des provinces méridionales

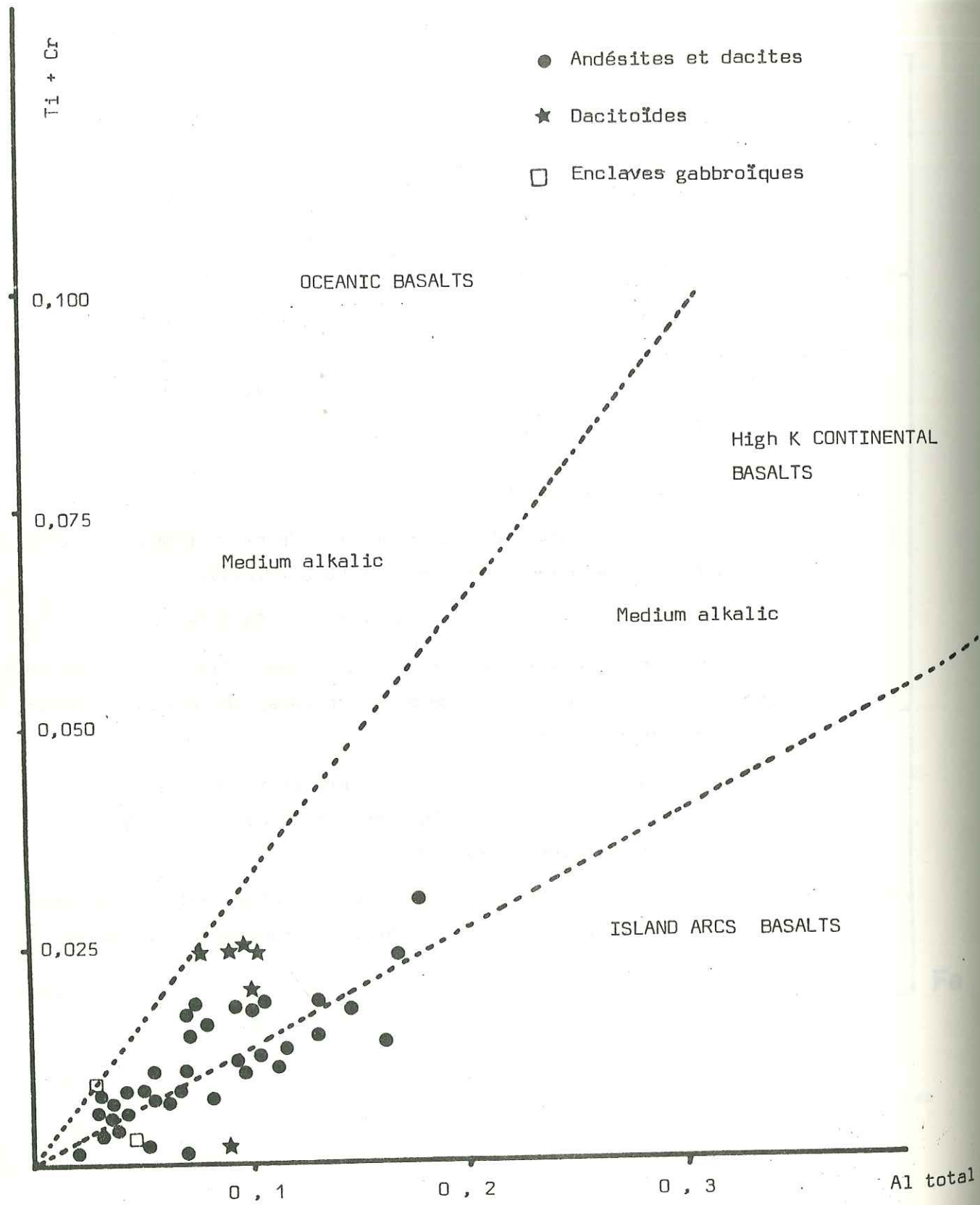


Figure 110 : Diagramme  $Ti$  fonction de  $SiO_2$  dans la roche hôte

Pour les clinopyroxènes des laves calco - alcalines des provinces méridionales

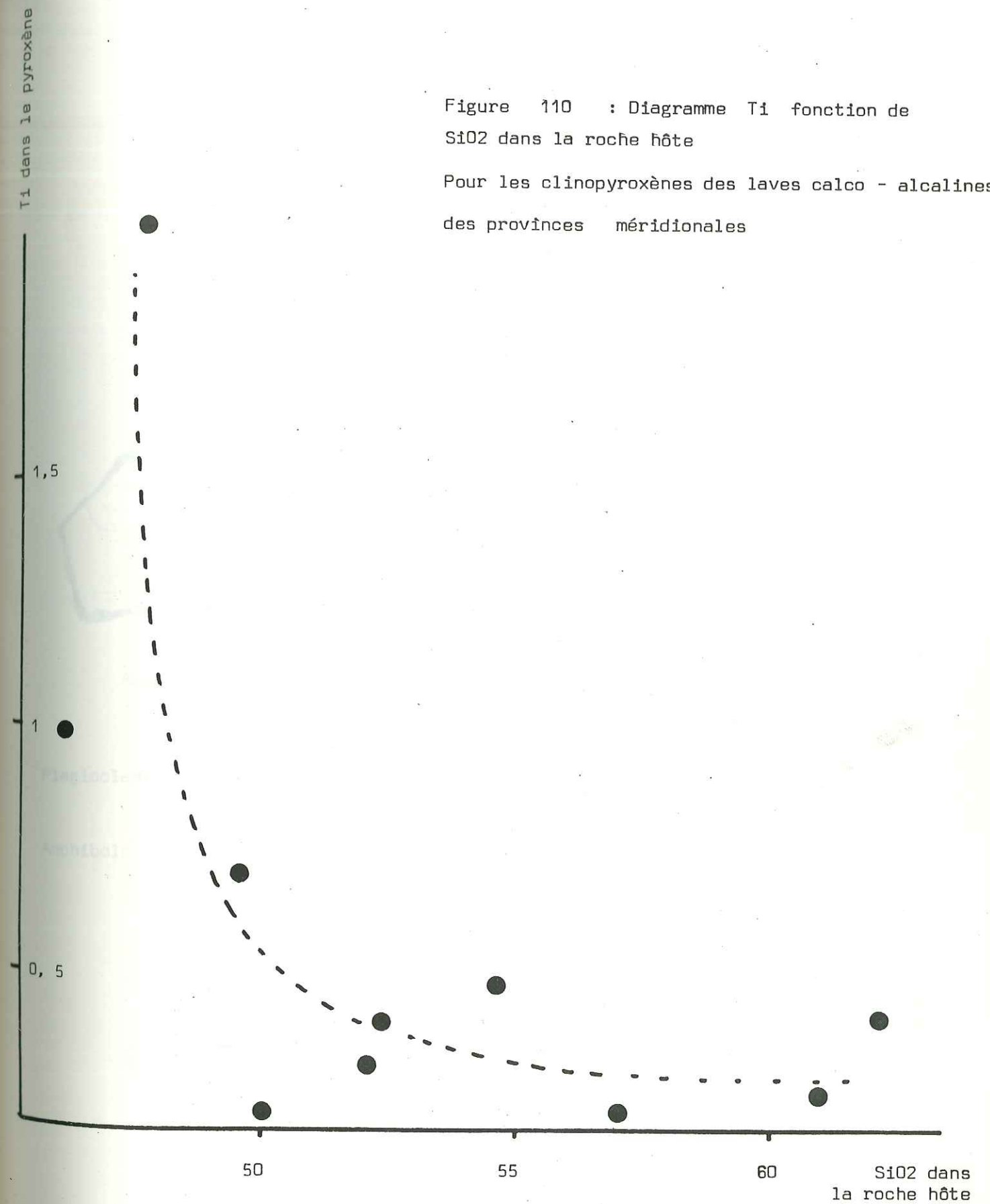
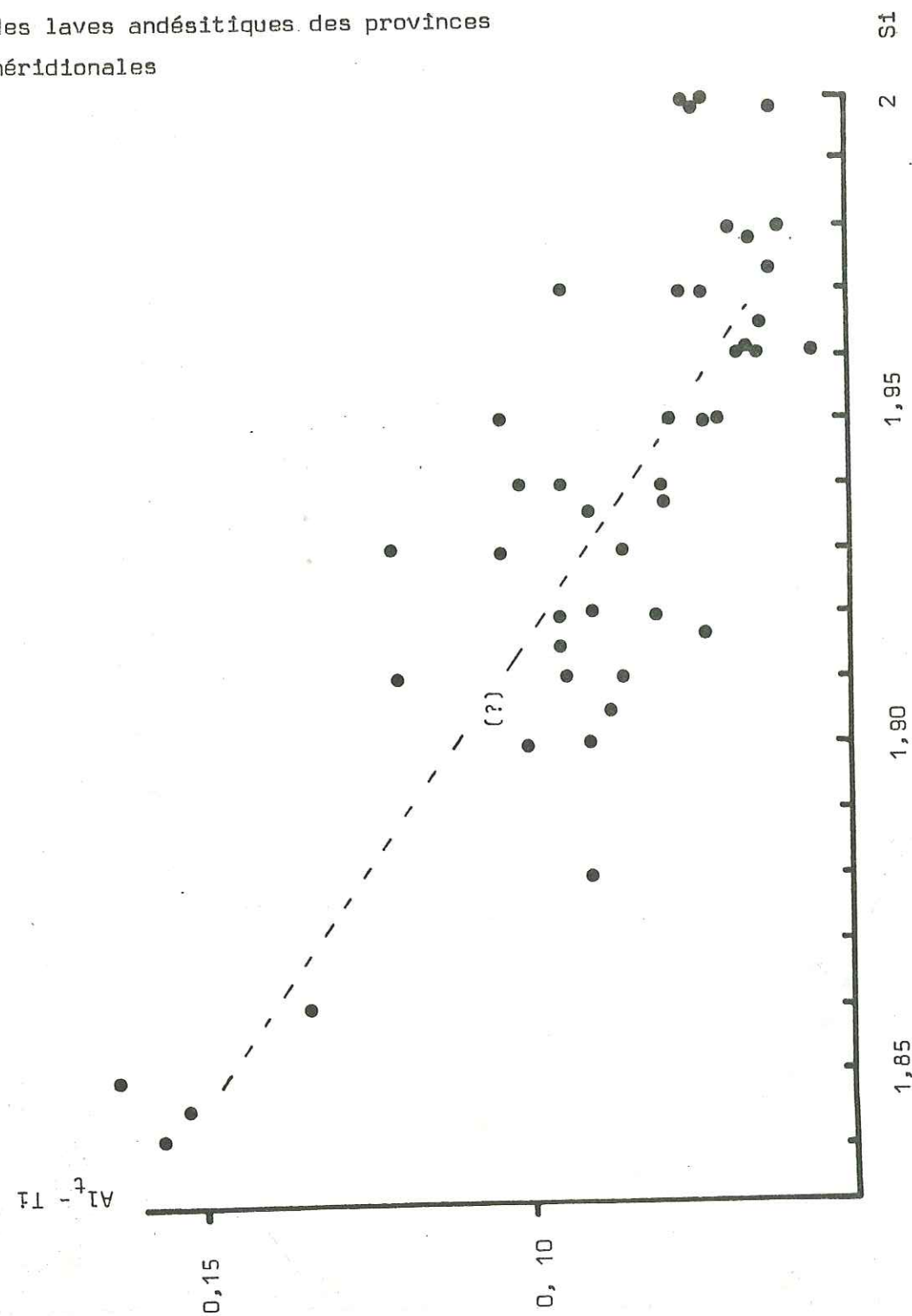




Figure 111 : Diagramme Al - Ti

fonction de Si dans les clinopyroxènes  
des laves andésitiques des provinces  
méridionales



## 1-1f) Les amphiboles.

Elles sont abondantes dans les andésites et les dacitoïdes. Les phénocristaux sont fréquemment auréolés d'une couronne de minéraux opaques, en particulier dans les andésites et les andésites basiques. L'amphibole peut montrer, dans ce type de roche, tous les stades de la résorption (A. Demant, 1972). Certaines amphiboles sont entièrement pseudomorphosées par les oxydes.

La Figure 112 montre tous les cas possibles de résorption de l'amphibole. Dans les dacites et dacitoïdes l'amphibole est généralement stable.

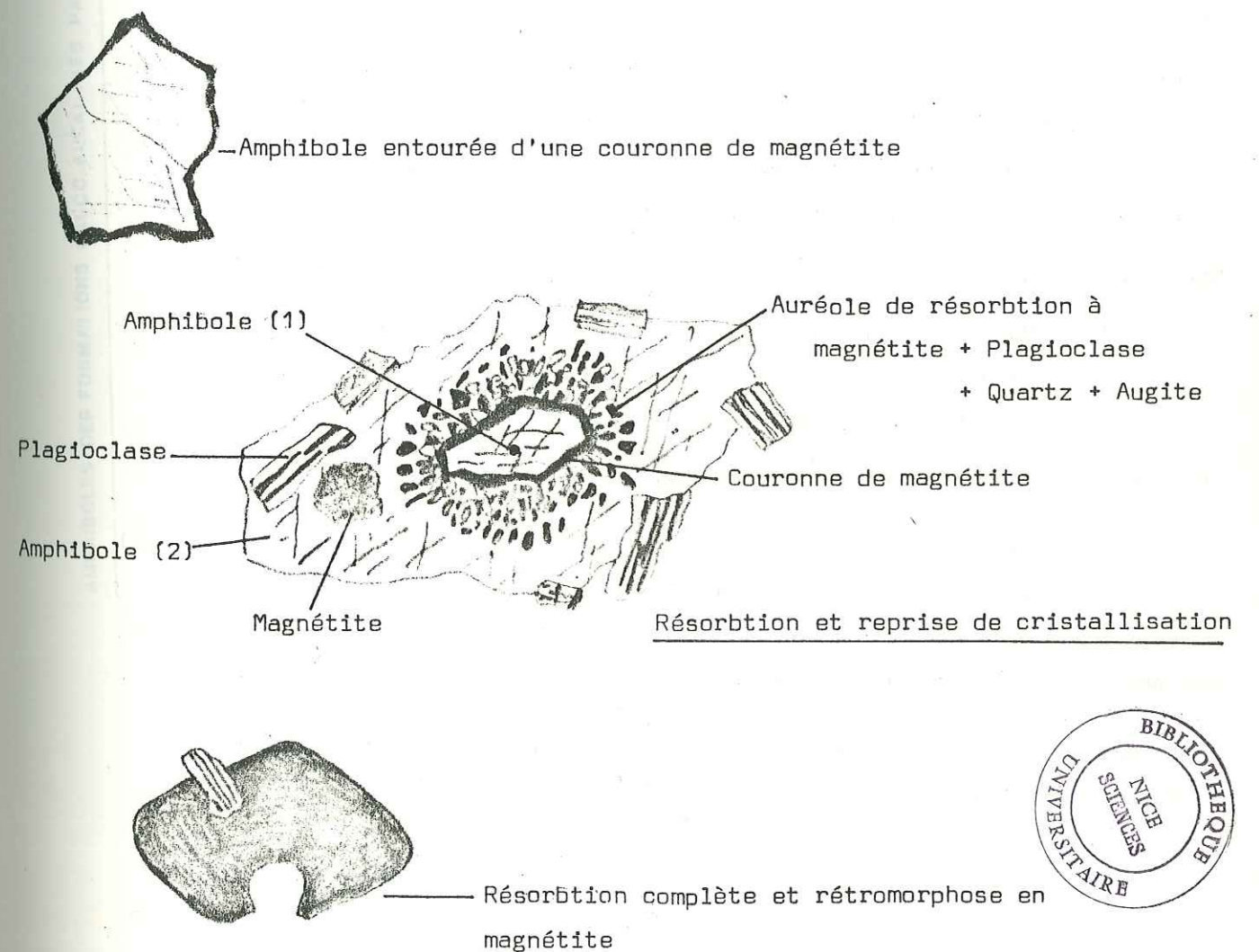


Figure 112 : Différents stades de résorption de l'amphibole dans les andésites.



Dans les dacites et andésites, l'amphibole est brune, très pléochroïque. Dans les dacitoïdes et rhyodacitoïdes de l'Estérel, elle est plus ou moins colorée dans les tons verts. S'il est certain que la teinte des amphiboles soit parfois en rapport avec la composition de ces minéraux (J. Fabriès, 1963), la Sous-Commission des amphiboles à l'I.M.A. (B.E. Leake, 1978) a précisé que les déterminations précises des amphiboles ne pouvaient se faire qu'à partir des analyses chimiques.

Les amphiboles des laves renferment, en abondance, des inclusions d'opakes ou de pyroxènes. Seules les analyses ponctuelles à la microsonde électronique sont fiables. La séparation mécanique de phases monominérales est pratiquement impossible.

L'interprétation des analyses obtenues par la microsonde pose le problème du choix d'un protocole de calcul de l'analyse structurale.

En accord avec B. Bonin (1980) nous avons choisi d'utiliser la méthode de calcul sur 13 cations (E.R. Neumann, 1976).

Dans le cas où :

Ca + Na + K inférieur à 1,34 (calcul sur la base de 23 oxygènes)  
la base utilisée est de  
Si + Ti + Al + Fe + Mn + Mg + Ca + Na + K = 15

les amphiboles sont ferro-magnésiennes.

Ca + Na + K supérieur à 1,34 (calcul sur la base de 23 oxygènes)  
la base utilisée est de  
Si + Ti + Al + Fe + Mn + Mg = 13

les amphiboles sont calco-sodiques.

Dans la pratique, on considère la somme donnée par le calcul sur la base de 23 oxygènes liés :

$$C = Si + Ti + Al + Fe + Mn + Mg$$

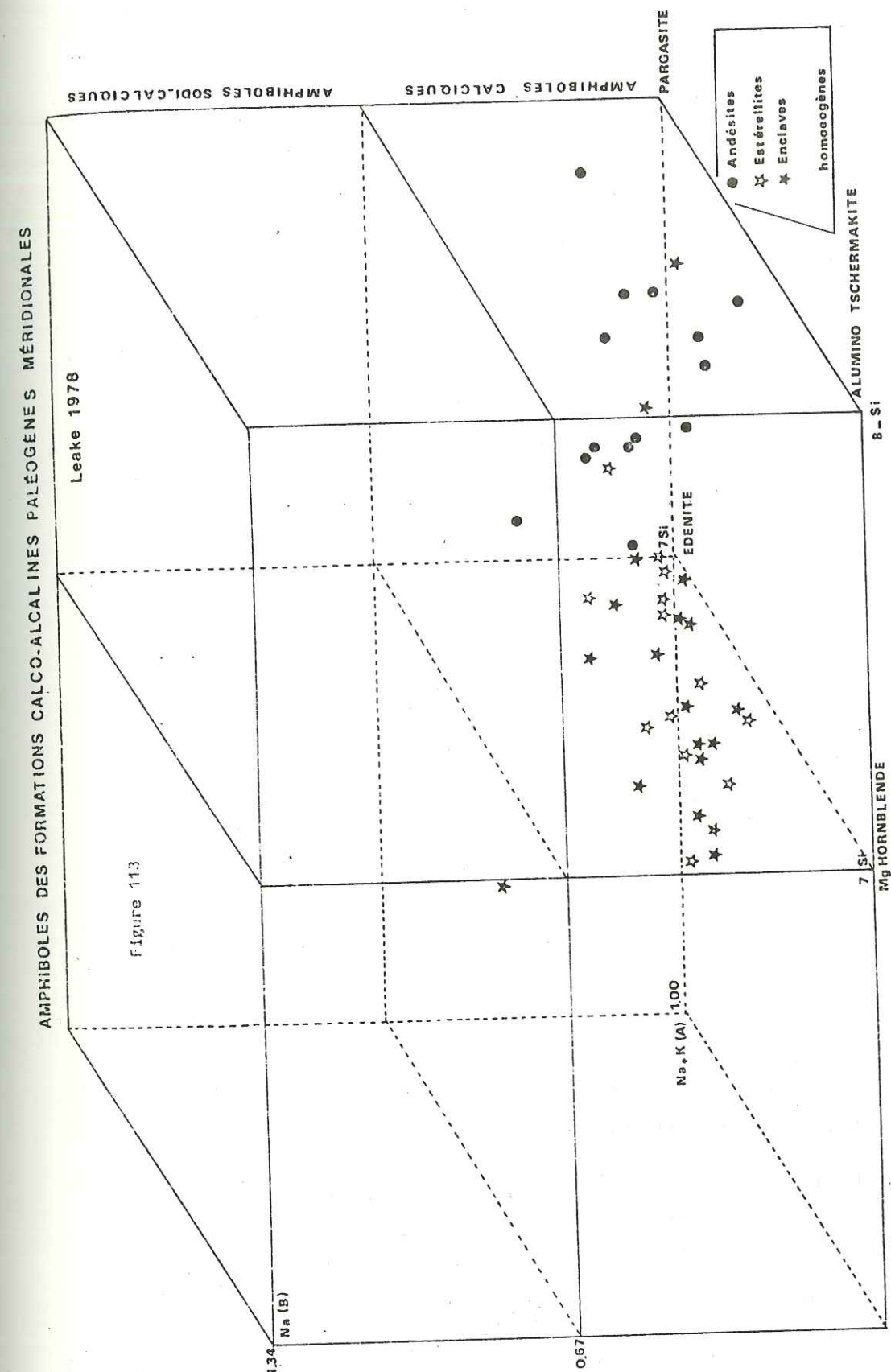
si  $13 \leq C < 13,75$  on utilisera  $Y + Z = 13$   
 $C > 14$  on utilisera  $X + Y + Z = 15$

$$\text{sachant que : } Z = Si + Al^{IV} + Fe^{3+IV}$$

$$Y = Al^{VI} + Ti + Fe^{2+} + Fe^{3+} + Mn + Mg$$

$$X = Ca + Na_{(X)} + K_{(X)}$$

$$A = Na_{(A)} + K_{(A)}$$





Dans la classification de Leake (1978) :

T	désigne le site	Z
C	"	Y
A	"	A
B	"	X

Les analyses chimiques d'amphiboles seront présentées en annexe selon deux bases de calcul: La base à 23 oxygènes liés et la base de Neumann à 13 Cations.

Le Tableau, ci-dessous, montre les différences qui existent au niveau du calcul des cations entre chacune de ces deux bases.

	(1)	(2)	(3)	(4)	Base 23 oxy.	Base 13 Cat.
Si O <sub>2</sub>	45,15	60	752,50	1505	Si = 6,62	6,51
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10,38	51	203,50	305,25	Al <sup>IV</sup> = 1,37	1,49
Fe O	16,41	72	228	228	Al <sup>VI</sup> = 0,42	0,27
Mn O	0,42	71	5,91	5,91	Fe = 2,00	1,97
Mg O	11,67	40	291,70	291,70	Mn = 0,05	0,05
Ti O <sub>2</sub>	1,64	80	20,50	41	Mg = 2,56	2,23
Ca O	9,98	56	178,20	178,20	Ti = 0,18	0,17
Na <sub>2</sub> O	3,13	31	101	50,50	Ca = 1,56	1,54
K <sub>2</sub> O	0,71	47	15,10	7,55	Na = 0,88	0,87
					K = 0,13	0,13
OH	-					
	99,48			S = 2613	S = 15,78	S = 15,56

Ca + Na + K est supérieur à 1,34 dans la base à 23 oxygènes liés.

La somme Si + Ti + Al + Fe + Mn + Mg = 13,2 est comprise entre 13 et 13,75 on utilisera donc la base Neumann à 13 Cations.

La colonne (1), donnant les pourcentages d'oxydes des éléments majeurs ;  
la colonne (2) les poids moléculaires (pour 1 atome de l'élément) ;  
la colonne (3) donne le nombre de millications d'un oxyde pour 100g du minéral,

la colonne (4) exprime le nombre d'oxygènes liés aux cations dans 100 g du minéral.

On calcule, dans la colonne (3), le nombre de millications correspondant à SiO<sub>2</sub> + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + FeO + MnO + MgO + TiO<sub>2</sub> = 1502,12

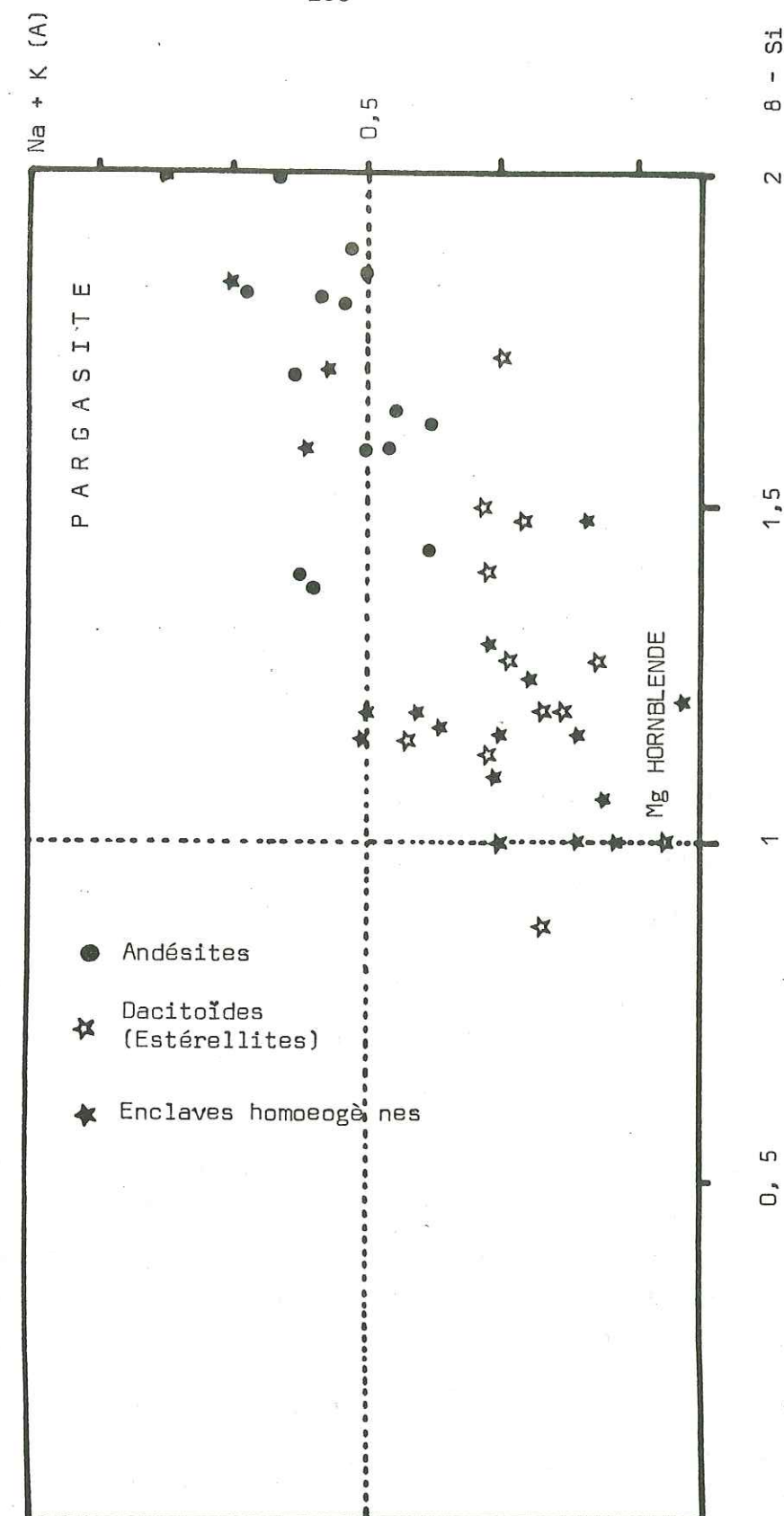


Fig 114 : Représentation des amphiboles des laves andésitiques et dacitiques des Provinces méridionales dans le diagramme de Leake (plan Na<sub>B</sub> = 0).



Cette somme correspond à 13 cations dans la base de Neumann.

On en déduit :

$$\begin{aligned} \text{Si}_{(\text{base de 13 cations})} &= \frac{752,5}{1502,11} \times 13 = 6,51 \\ \text{Al}_{(\text{base de 13 cations})} &= \frac{203,5}{1502,11} \times 13 = 1,76 \text{ etc.} \end{aligned}$$

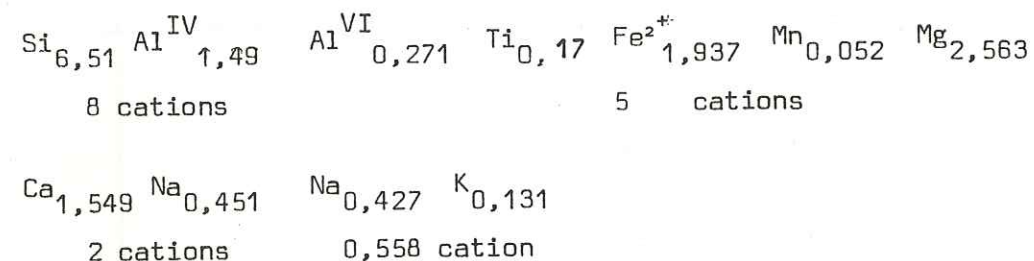
On doit faire la même opération pour Ca, Na, K

Le remplissage des sites se fera ainsi :

$$\begin{aligned} \text{Site B : Na}_B &= 2 - \text{Ca} = 0,451 \quad (\text{Ca}_B = 1,549) \\ \text{ou X} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Site A : Na}_B &= \text{Na}_{\text{total}} - \text{Na}_B = 0,878 - 0,451 = 0,427 \\ K_A &= 0,131 \end{aligned}$$

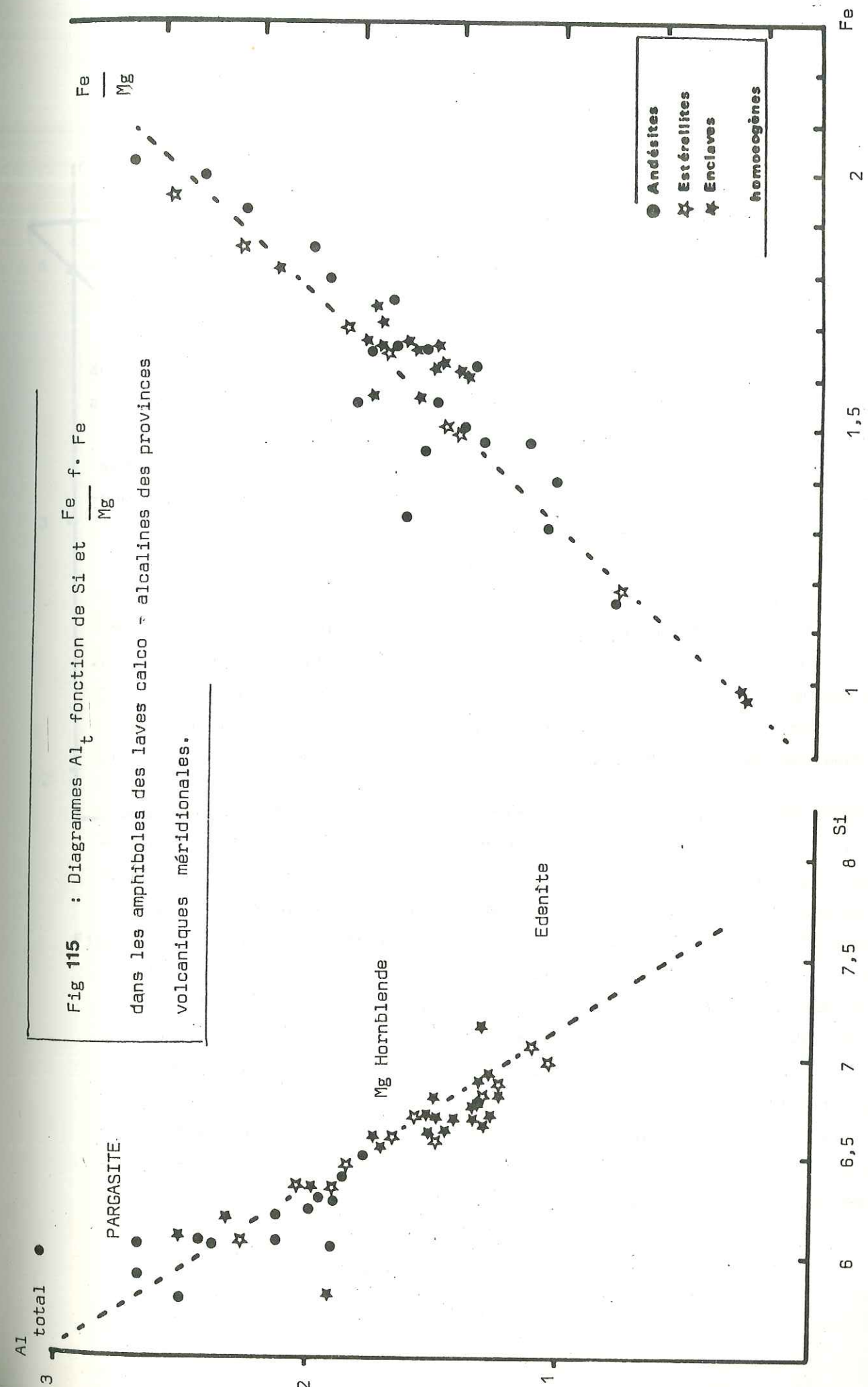
La formule structurale s'écrira alors :



#### REMARQUE :

Il est impossible, lorsqu'on utilise la microsonde, de connaître la composition du groupement O, OH, F dont la composition est très variable selon le type d'amphibole (Deer et coll. 1967). On ne peut connaître, de même, le degré d'oxydation du fer dans les amphiboles ainsi analysées.

Dans la classification de Leake (1978) (Fig.113) les points représentatifs des amphiboles (base de 23 oxygènes) se situent en-dessous du plan de cote  $\text{Na}_B = 0,67$ . Il s'agit d'amphiboles calciques dont la composition varie des PARGASITES aux MAGNESIO-HORNBLENDES. La représentation par projection des points représentatifs sur le plan  $\text{Na}_B = 0$  (Fig.114) montre que la composition des amphiboles varie avec le type de roche. Les amphiboles des andésites sont pauvres en Si de même que certaines des amphiboles que l'on rencontre dans les enclaves gabbroïques des dacitoïdes. Les amphiboles des estérellites sont, elles, plus riches en Si et moins calciques. Si l'on étudie la corrélation qui existe entre  $\text{Al}_{\text{total}}$  et Si on





observe que le taux de Silice augmente lorsque l'on passe des andésites aux dacites et rhyodacites.

Certaines amphiboles analysées dans l'Estérellite se rapprochent des Edénites. La tendance d'évolution des compositions d'amphiboles est comparable à celle que C. Lefèvre (1979) a décrite dans la série calco-alcaline du Pérou méridional.

La corrélation Fe - Mg (Fig.115) est nette, mais les deux types d'amphiboles (Pargasite et Magnésio-hornblende) apparaissent moins nettement.

La classification de B. Bonin (1980) utilisant la base de calcul à 13 cations illustre parfaitement le passage des amphiboles pargasitiques aux hornblendes et aux hornblendes à tendance édénitique (Fig.116).

P. Jakes et A.J.R. White (1971) ont utilisé le diagramme  $Al^{IV} = f(SiO_2 \text{ dans la roche hôte})$  pour différencier les amphiboles des roches de marge continentale de celles des laves d'arcs insulaires. Dans le cas des amphiboles des provinces paléogènes péri-alpines occidentales (Fig.117) il n'est pas possible de trancher.

L'étude de la répartition des éléments en traces dans les amphiboles montre qu'il est très difficile de dégager des tendances d'évolution significatives. Au niveau des éléments de transition, seuls le Co et le Ni sont présents dans la totalité des échantillons analysés. Il semble que la somme Co + Ni soit fonction de l'évolution du rapport Fe/Ca dans les amphiboles (Fig.118).

En conclusion, on peut retenir que, dans les laves des provinces paléogènes méridionales on observe deux types d'amphiboles : des Pargasites et des Hornblendes magnésiennes. De telles associations ont déjà été décrites au Pérou (C. Lefèvre, 1979) et au Clinker Peak (N.L. Green, 1982). Dans le premier exemple, la cristallisation des deux types d'amphiboles a été interprétée comme le résultat de conditions physiques différentes de cristallisation (températures plus élevées pour les pargasites, plus faibles pour les hornblendes), dans le deuxième exemple, N.L. Green interprète l'existence de deux types d'amphiboles comme le résultat d'une zonation dans la chambre magmatique. Dans le cas qui nous intéresse, il semble que l'existence des deux types d'amphiboles soit liée à des facteurs thermiques. En effet, on observe, dans les andésites comme dans les estérellites, un passage progressif des pargasites aux hornblendes magnésiennes.

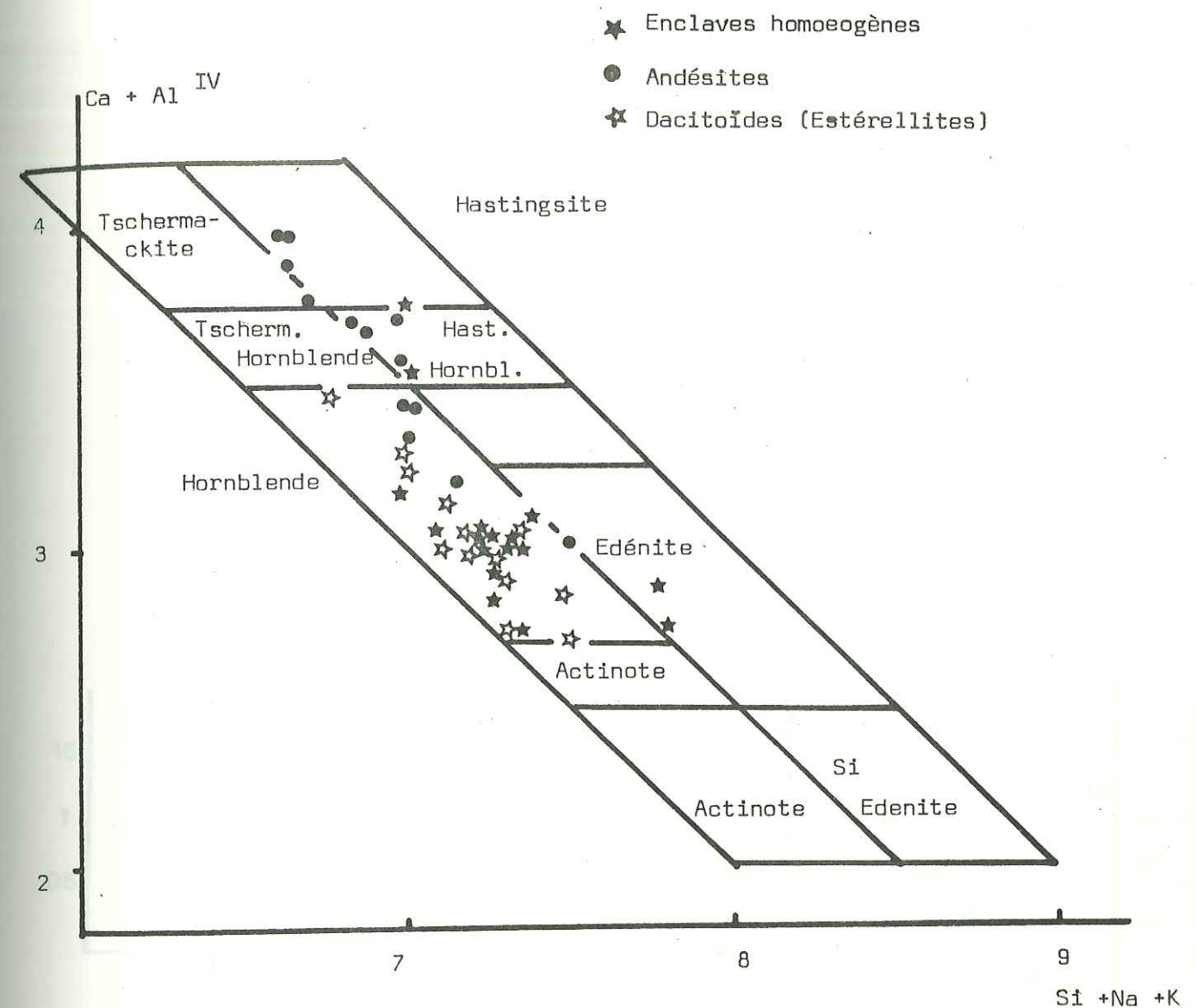


Fig 116 : Représentation des amphiboles des laves calco - alcalines des provinces méridionales dans la classification de B. Bonin (1980)



Fig 117 : Diagramme de Jakes et White (1971)  
pour les amphiboles des laves calco - alcalines  
des provinces méridionales  
(symboles Fig. 116)

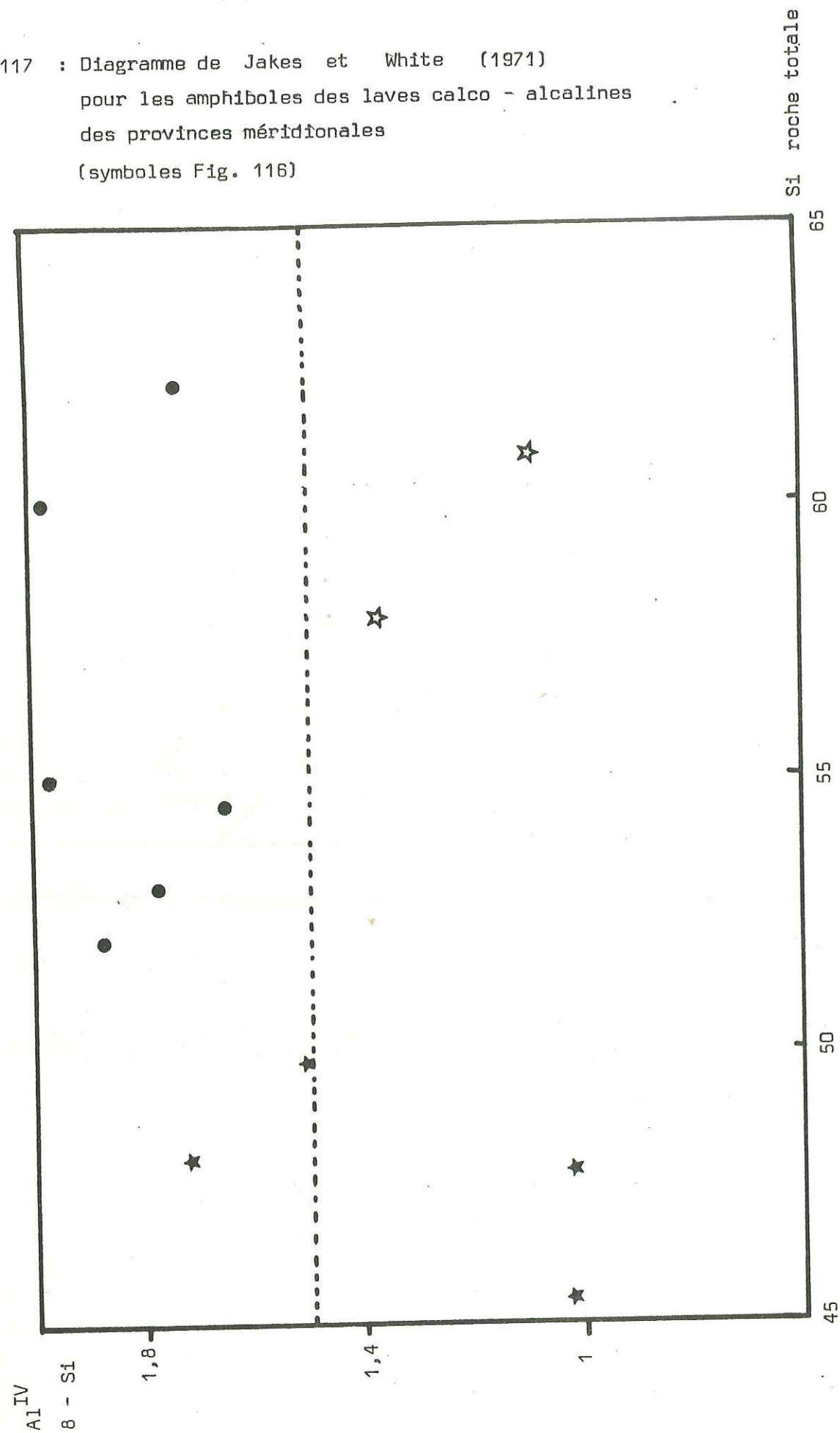
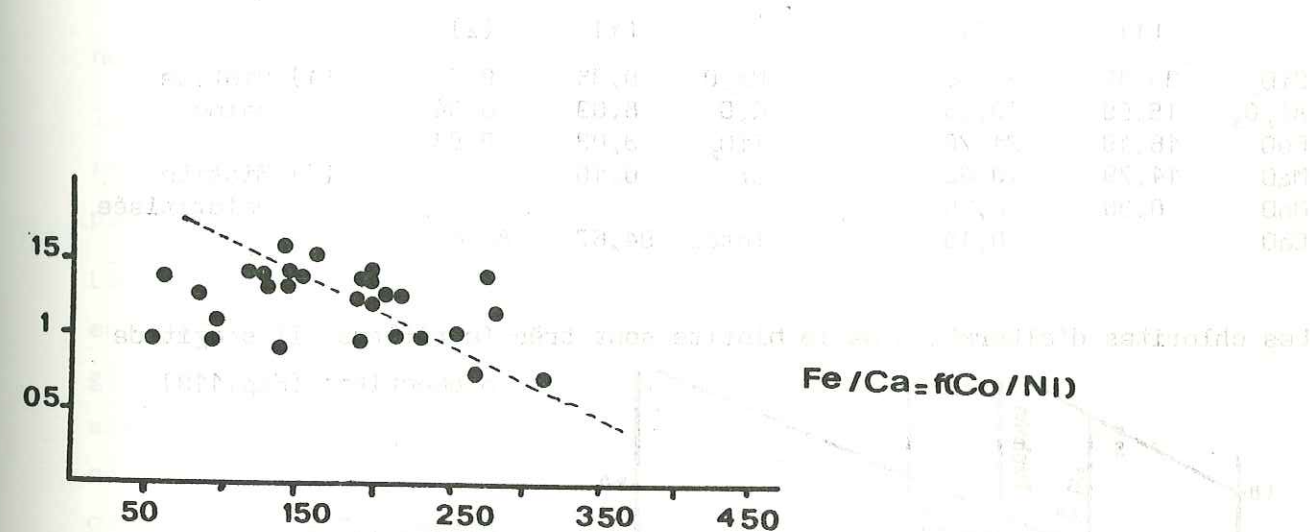


Figure 118 : Diagramme Fe/Ca fonction de Co + Ni  
pour les amphiboles des laves calco - alcalines des  
provinces paléogènes méridionales.





## 1-1g) Les micas.

La biotite apparaît en phénocristaux dans les dacites et rhyodacites du massif de l'Estérel ainsi que dans faciès particulier des andésites du synclinal de Barrême, où l'on n'a pu l'analyser en raison de son intense chloritisation.

La biotite est, de même fréquemment chloritisée dans les estérellites. Elle est, en revanche, intacte dans les enclaves homoéogènes granodioritiques et trondhémiques.

Il s'agit de biotites magnésiennes riches en titane (Forster, 1960). Le rapport  $Mg / Mg + Fe + Mn$  est voisin de 0,69.

La transformation en chlorite de la biotite a pour effet d'abaisser sensiblement le taux de  $SiO_2$  et d'alcalins au profit de Fe, Mg et Al.

Le Tableau ci-dessous montre les transformations chimiques subies par la biotite lors de la chloritisation :

	(1)	(2)		(1)	(2)	
$SiO_2$	35,89	27,30	$Na_2O$	0,38	0,01	(1) Biotite saine
$Al_2O_3$	15,59	19,98	$K_2O$	8,09	0,04	
FeO	16,49	21,78	$TiO_2$	3,03	0,08	(2) Biotite chloritisée
MgO	14,79	19,02	Cr	0,10	-	
MnO	0,36	0,20	Total	94,67	88,49	
CaO	-	0,10				

Les chlorites d'altération de la biotite sont très ferrifères. Il s'agit de diabantites (Fig.119)

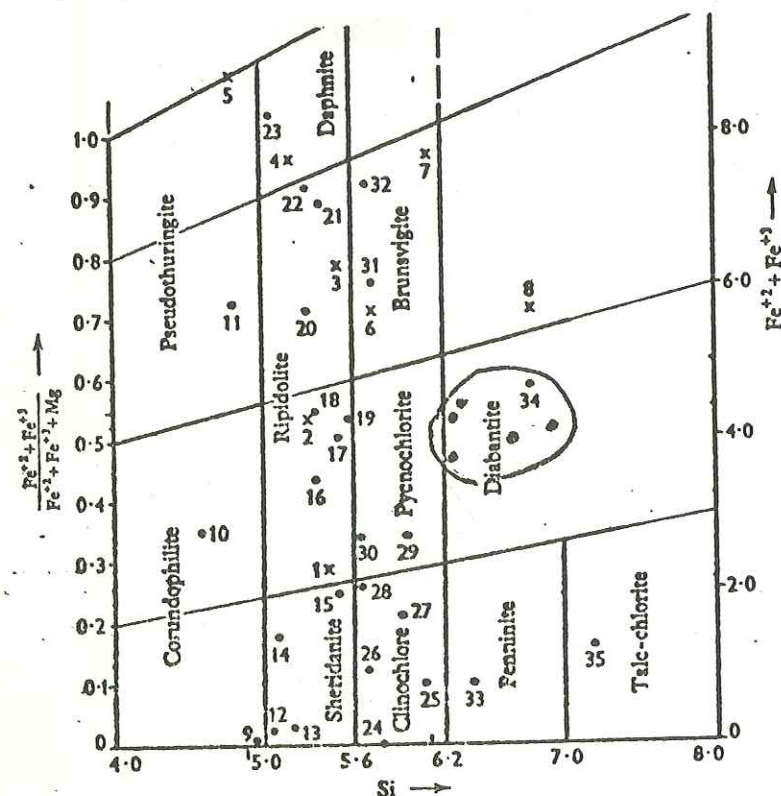


Figure 119 :  
Position des chlorites d'altération des biotites des rhyodacites des provinces méridionales.

Nomenclature of ortho-chlorites and oxidized chlorites (after Hey, 1954). Specimens for which analyses are given in Table 25 are plotted thus:

● ortho-chlorite    × oxidized chlorite

Les biotites de l'estérellite de Pierre Levée (Estérel) et celles des enclaves homoéogènes trondhémiques sont riches en éléments de transition (Zn, Cu et Cr, voir annexe).

## 1-1h) Le grenat.

Ce minéral, peu abondant, existe dans certaines estérellites. Il a été signalé par C. Caruba (1971) dans la roche holoplagioclase du P.C. 90,2, au cœur des phénocristaux de plagioclases zonés.

Le grenat est aussi présent dans les enclaves homoéogènes, en particulier les trondhémiques. Il s'agit d'un grenat de formule complexe, riche en almandin (Alm sup. à 50%).

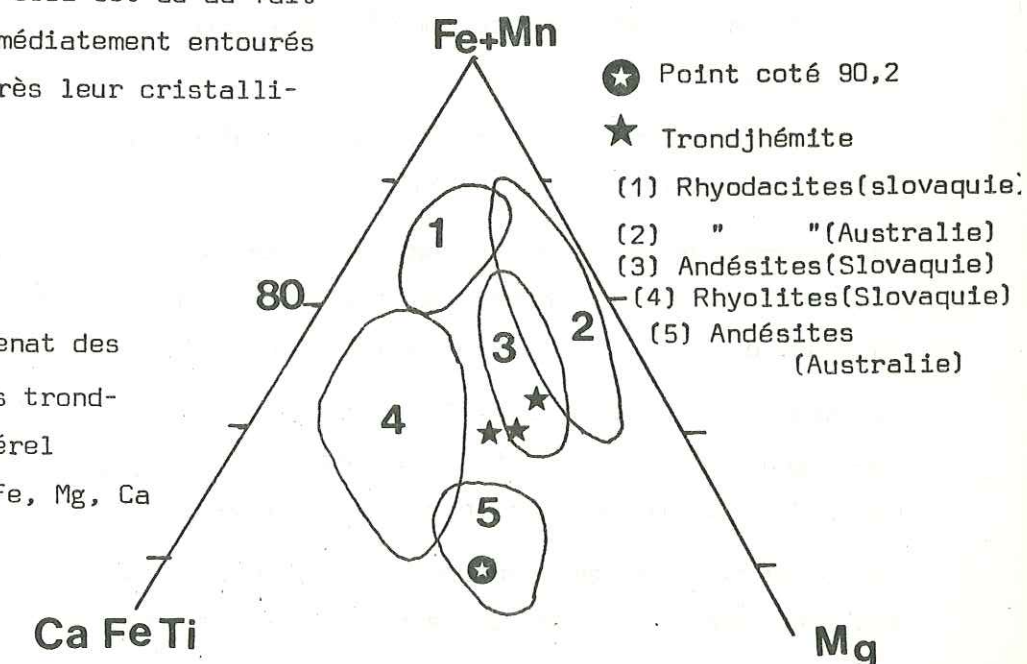
Les pseudophénocristaux de ce minéral ont une composition très voisine de ceux qu'ont précédemment décrits R. Brousse, H. Bizouard et J. Salat (1972) dans les roches calco-alcalines andésitiques et rhyolitiques de Slovaquie (Fig.20). En accord avec les travaux de Green et Ringwood (1968) ces grenats sont à rattacher au type pauvre en Ca (Gross + Andr. inf. à 20%).

Ils représentent vraisemblablement les premiers minéraux apparus en présence d'eau à des pressions voisines de 9 à 18 Kb, c'est-à-dire dans la partie supérieure du manteau ou la base de la croûte.

La paragenèse qui accompagne le grenat (Quartz, Biotite, Plagioclase + amphibole) est comparable à celles qui ont été décrites dans d'autres régions du monde en liaison avec un magmatisme calco-alcalin. Signalons, enfin, que les cristaux (automorphes) de grenat ne montrent aucun signe de rétro-morphose. Cela est dû au fait qu'ils ont été immédiatement entourés de plagioclase après leur cristallisation.

Figure 120 :  
Composition du grenat des rhyodacites et des trondhémiques de l'Estérel dans le diagramme Fe, Mg, Ca

'Gross. And.  
'Alm. Spess.  
'Pyr.





## 1-11) Les minéraux opaques.

Les oxydes de fer cristallisent durant tous les stades du fractionnement. Ils existent en phénocristaux et en microcristaux et sont inclus dans les olivines des andésites basiques.

Il s'agit, essentiellement, de titanomagnétites. Dans certaines roches, affectées de pneumatolyse et d'hydrothermalisme, on peut rencontrer des pyrites secondaires (formées aux dépens des magnétites).

Les phases spinelle et rhomboédrales (Carmichaël, 1967.; Buddington et Lindsley, 1964) n'ont jamais été trouvées associées dans les roches andésitiques et dacitiques. Ceci a rendu impossible l'évaluation des paléotempératures par le géothermomètre Fe - Ti.

Les points représentatifs des oxydes rencontrés dans les laves des provinces paléogènes péri-alpines occidentales ont été reportées dans le diagramme  $TiO_2$  -  $Fe_2O_3$ . Les taux de  $Fe_2O_3$  ont été estimés à partir de la connaissance des taux de Fe exprimés en  $Fe^{2+}$  à la microsonde électronique (suivant un programme utilisant la base de calcul Ulvospinelle de I.S. Carmichaël).

Sur le diagramme de la Figure 121 on remarque que les oxydes se répartissent suivant 3 groupes :

- \* Les titanomagnétites riches en Ti que l'on rencontre préférentiellement dans les enclaves homoéogènes gabbroïques ou dioritiques où elles peuvent cristalliser avec des magnétites.

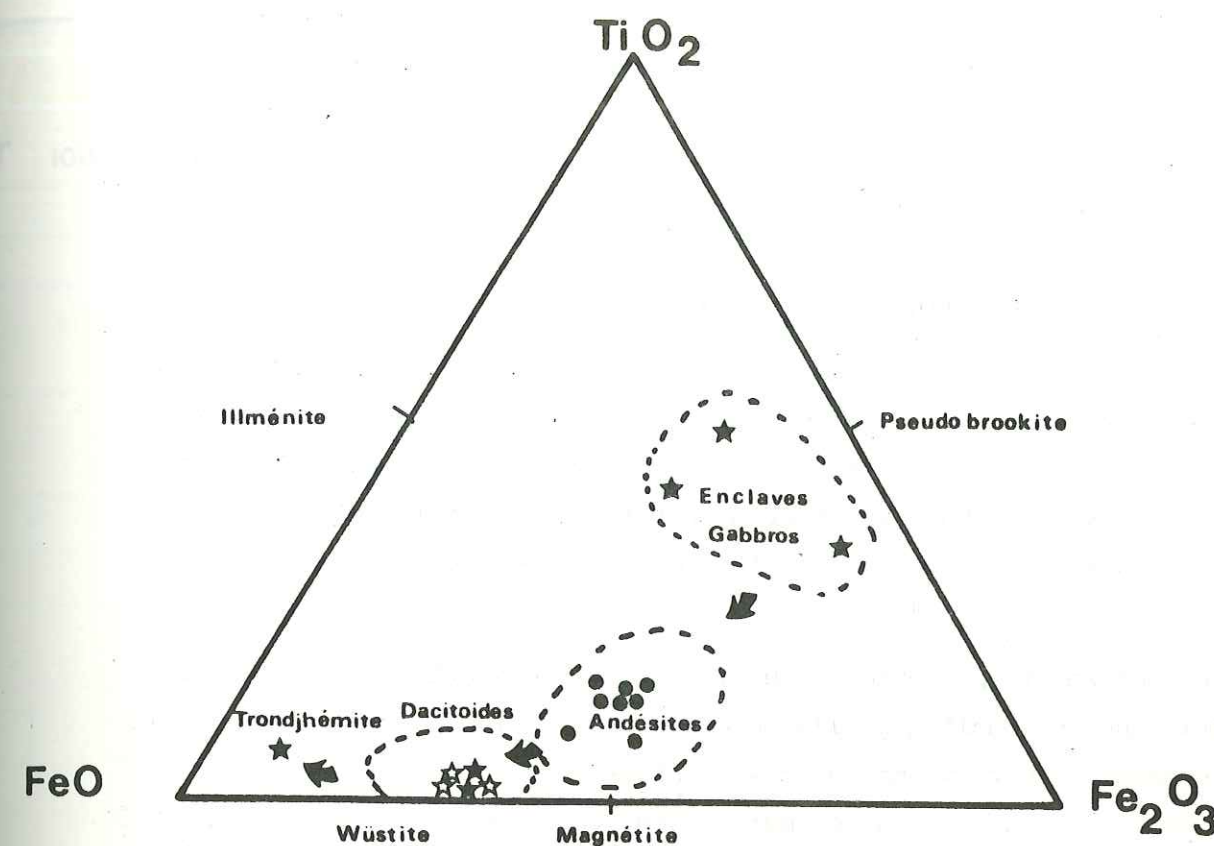
- \* Les titanomagnétites moyennement titanées que l'on rencontre dans les andésites.

- \* Les magnétites franches, enfin, ont été rencontrées dans les dacites et rhyodacites (estérellites).

Les minéraux opaques sont riches en éléments de transition. Le Fer divalent est directement corrélé au Zinc, qui reste l'élément en trace le plus abondant dans les oxydes (Zn compris entre 500 et 2500 ppm.)(cf. Annexes).

Le chrome est abondant dans les oxydes qui cristallisent dans les enclaves homoéogènes gabbroïques et dioritiques. On peut rencontrer jusqu'à 4000 ppm. de Cr dans les magnétites en enclaves au cœur des cristaux d'amphibole.

Le Nickel suit la même tendance. Le Cuivre, enfin, n'est présent que dans les titanomagnétites des enclaves gabbroïques et dans les andésites.



Diagramme

Fig 121:  $TiO_2$ , FeO,  $Fe_2O_3$  des minéraux opaques des laves calco - alcalines des provinces méridionales



Les pyrites secondaires que l'on rencontre dans certaines estérellites très altérées par l'hydrothermalisme ou la pneumatolyse sont très riches en Cobalt et en Nickel. Elles ne contiennent jamais de Zinc. Cet élément semble avoir été remobilisé (lors de la phase hydrothermale) par des fluides à partir des magnétites qui se sont transformées en pyrite. A proximité des cristaux de pyrite on observe en abondance des minéralisations de blende (Carrière des Petits Caous, Estérel).

#### 1-1j) Les minéraux accessoires : Etude typologique du Zircon.

L'étude des minéraux accessoires de l'estérellite a fait l'objet d'un mémoire (C. Caruba, 1971). Nous ne reviendrons donc pas sur les minéraux comme l'apatite présente dans les andésites et les dacites mais, en revanche, nous insisterons sur la signification du zircon accessoire dans les laves calco-alcalines des Alpes occidentales (J.D. Giraud, J.P. Pupin, G. Turco, 1980).

Les caractères morphologiques du zircon ont été décrits dans les roches andésitiques et dacitiques liguro-provençales. Il m'a semblé intéressant de comparer la morphologie de ces cristaux à celle de zircons trouvés dans des roches analogues, en particulier en Sardaigne (série SA 3, in C. Coulon, 1977).

J'ai utilisé, pour cela, la classification J.P. Pupin, G. Turco (1972).

A côté des caractères morphologiques classiquement rencontrés dans les populations de zircons issues de roches volcaniques (J.P. Pupin, 1976 ; M. Tessier, 1979), tels que automorphie des cristaux, lacunes et gradients de croissance, inclusions vitreuses, les cristaux présentent le plus souvent un fort développement de la pyramide 211 conférant aux populations des laves calco-alcalines de faibles valeurs de l'indice  $\bar{A}$ . Il en résulte une répartition particulière de la typologie correspondant, dans le diagramme I.A. , I.T. (Fig.122) à des valeurs  $\bar{A}$  plus faibles que pour l'ensemble des roches plutoniques et volcaniques étudiées à ce jour.

Cette situation reflète le caractère nettement alumineux des magmas envisagés (J.P. Pupin, 1976).

Dans les andésites et les brèches volcaniques monogéniques, les populations de zircon accessoire sont moyennement étalées (Fig.123). Les sous-type S et  $U_{17}$  à  $U_{19}$  et S et  $U_{22}$  à  $U_{25}$  dominent. Le domaine représentatif de ces roches est relativement limité (Fig.122). Les populations correspondent aux dacites

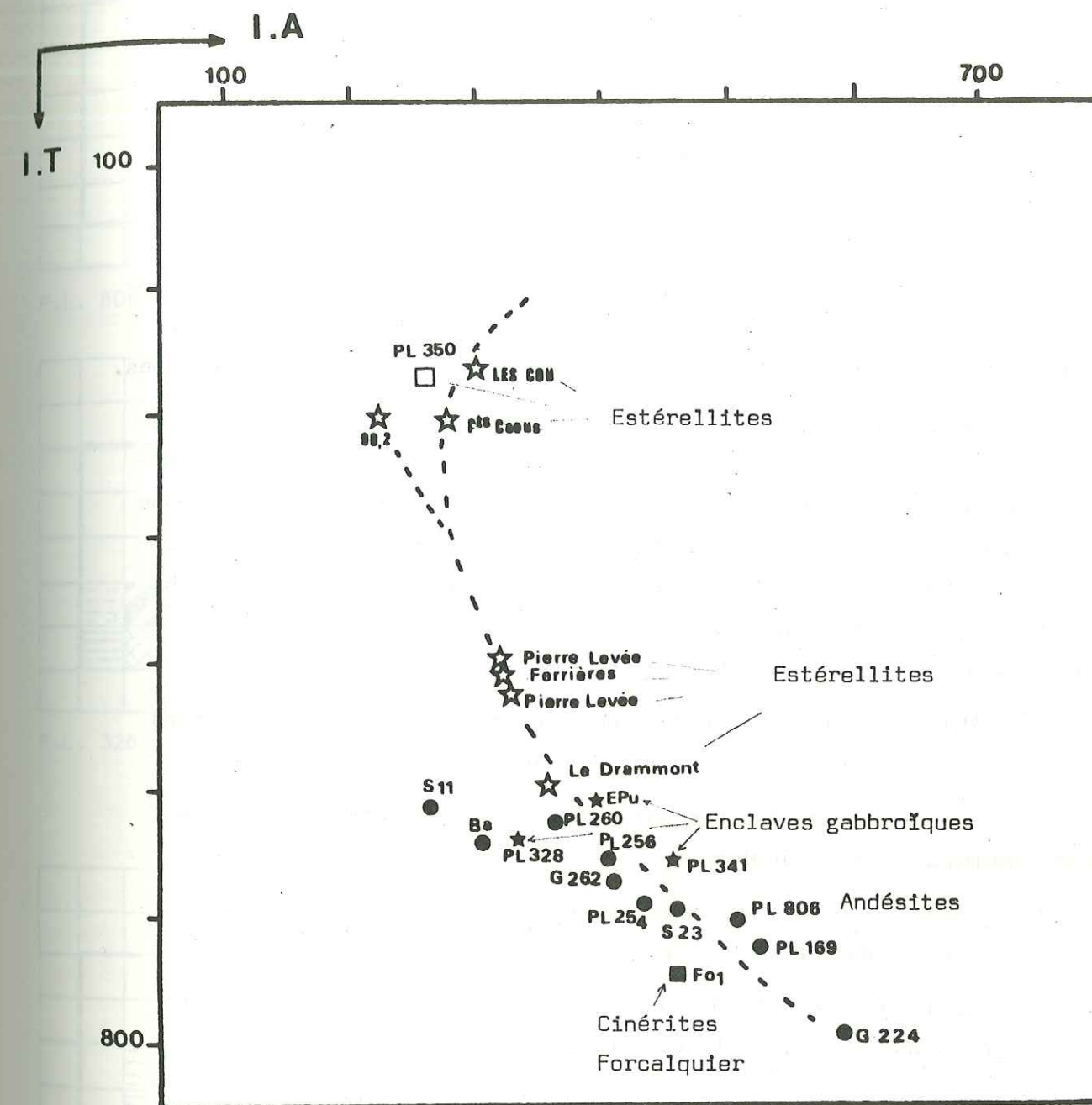


Fig .122 : Diagramme I.A, I.T des populations de zircon accessoire des manifestations calco - alcalines des provinces méridionales (voir provenance Figure 123 )



et aux microdiorites quartziques (estérellites) apparentées sont moyennement étalées (Fig.123). Les sous-types  $L_2$ ,  $S_{2-3}$ ,  $S_{12}$  et  $S_{17}$  prédominent (Fig.123). Le domaine représentatif de ces roches est plus large que celui des andésites (Fig.122).

En ce qui concerne les zircons extraits des formations volcano-détritiques, le grauwaacke de Barrême montre une population homogène de type andésite ce qui confirme le caractère monogénique de la formation.

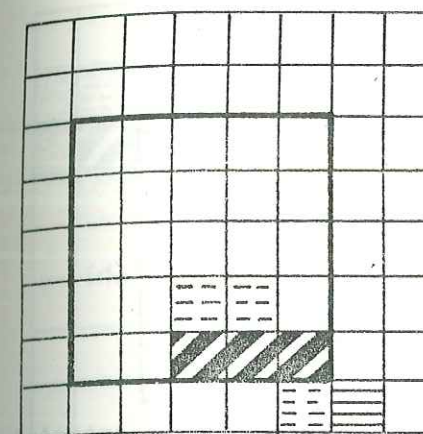
Nous reviendrons sur l'étude du zircon dans le chapitre consacré à la Pétrogénèse. On peut, cependant, signaler dès à présent l'intérêt que présente l'étude de la typologie du zircon accessoire dans les séries calco-alcalines.

Il paraît possible de différencier les différents types pétrographiques caractéristiques de ce genre de série sur le seul vu de la distribution typologique de leurs populations de zircons. Ceci présente un intérêt réel dans le cas de roches altérées pour lesquelles l'étude par voie chimique est impossible. Ceci est très net dans le cas de la cinérite de Forcalquier (Ech. Fo 1, Fig.122 & 123) dont le degré d'altération rend difficile une quelconque détermination par voie chimique (F. Arbey, 1973).

1-1k) Conclusion à l'étude minéralogique des laves des provinces paléogènes méridionales du pourtour alpin occidental.

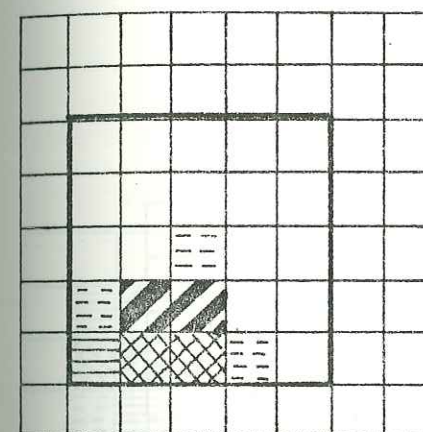
Les caractères des paragenèses minéralogiques rencontrées sont typiquement calco - alcalins:

- \* La magnétite et les titanomagénites cristallisent durant tous les stades du fractionnement.
- \* Le clinopyroxène est une augite à tendance salitique qui est généralement associée à l'hypersthène,
- \* Les minéraux à groupements hydroxylés sont abondants (amphibole et biotite).
- \* Les plagioclases sont intensément zonés et les roches intermédiaires (andésites) sont très porphyriques.
- \* La typologie du zircon accessoire définit une lignée qui se situe nettement à l'écart des séries tholéitiques et alcalines dans le diagramme I.A., I.T.



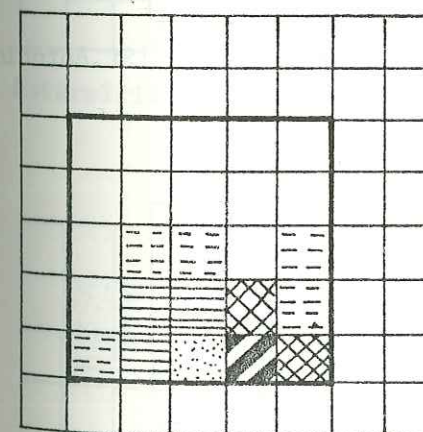
(a)

P.L. 806 Andésite basique (Biot)



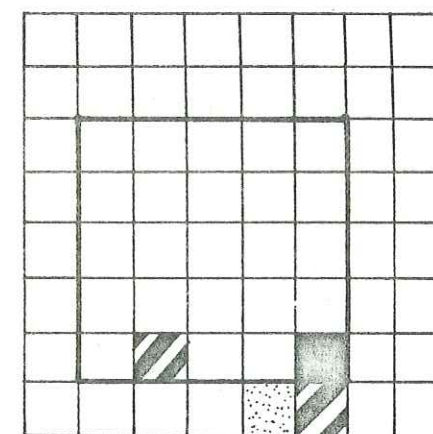
(c)

P.L. 328 Enclave gabbroïque (Estérel)



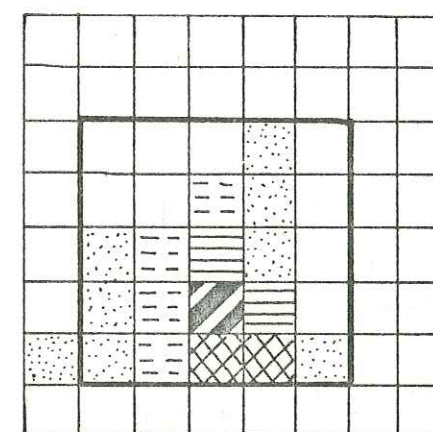
(e)

P.L. 341 Enclave gabbroïque (Estérel)



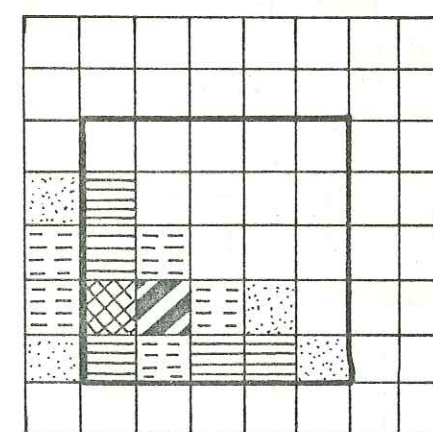
(b)

P.L. 169 Brèche andésitique (Biot)



(d)

En.275 Enclave gabbroïque (Estérel)  
in J.P. Pupin (1976)

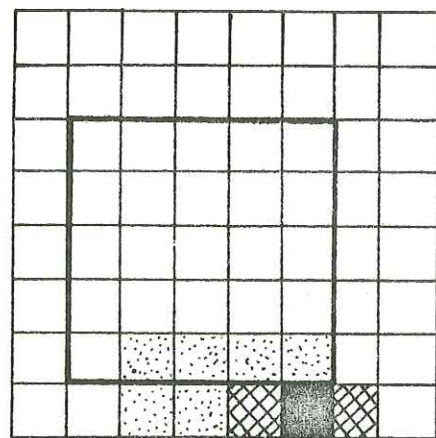


(f)

S.11 Andésite basique (St.Antonin)  
in S.Touré (1980)

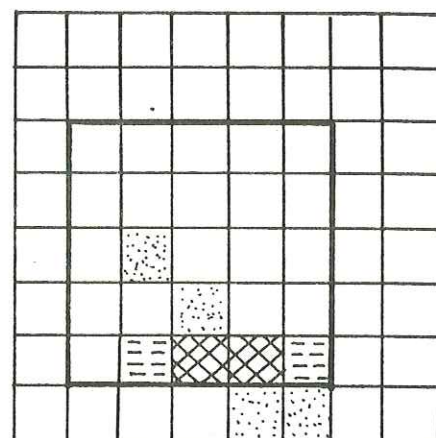
Figure 123 (a) à (f) : distribution typologique des populations de zircon accessoire dans les roches calco-alcalines paléogènes périalpines.





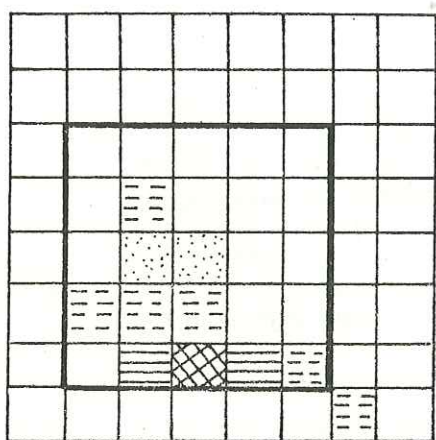
(g)

G.224 Andésite basique (St.Antonin)  
in S.Touré (1980)



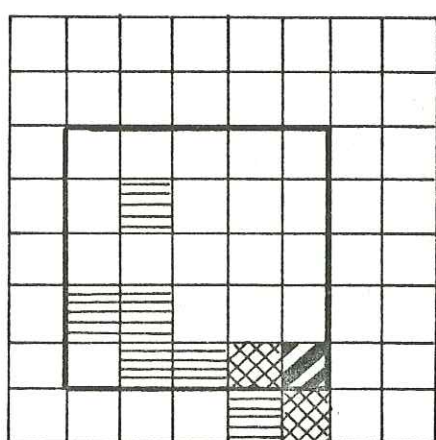
(h)

G.23 Andésite basique (St.Antonin)  
in S.Touré (1980)



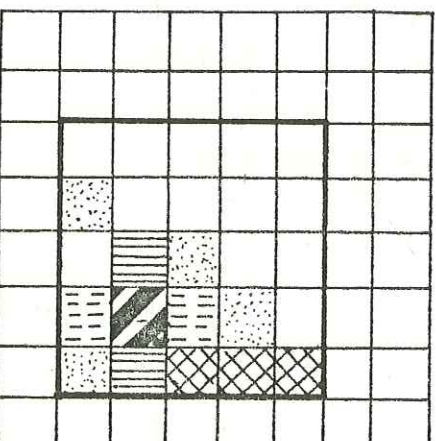
(i)

G.262 Andésite (St.Antonin)  
in S.Touré (1980)



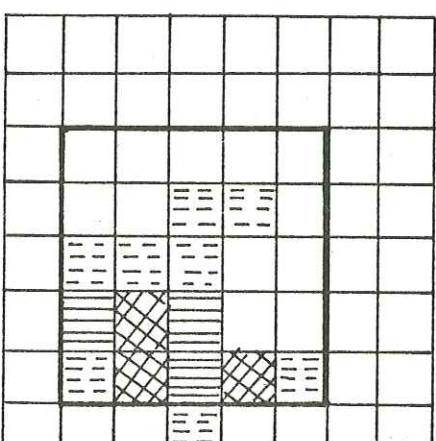
(j)

P.L.254 Brèche andésitique (St.Antonin)



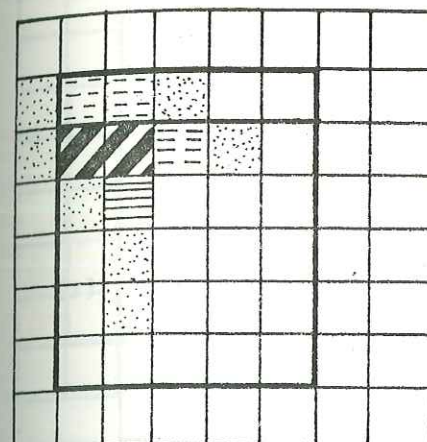
(k)

P.L. 256 Brèche andésitique (St.Antonin)



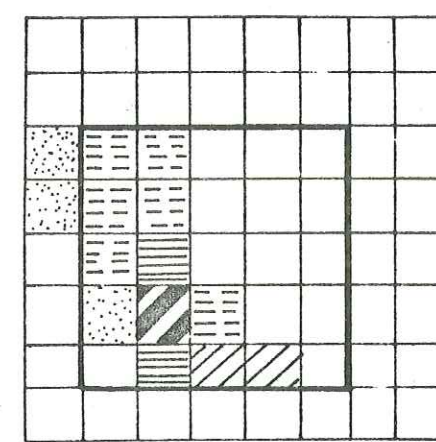
(l)

P.L. 260 Andési - dacite (St.Antonin)



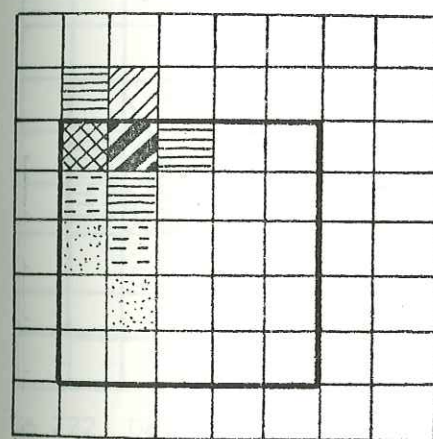
(m)

Dacitoïde (Estérellite) Les Cou



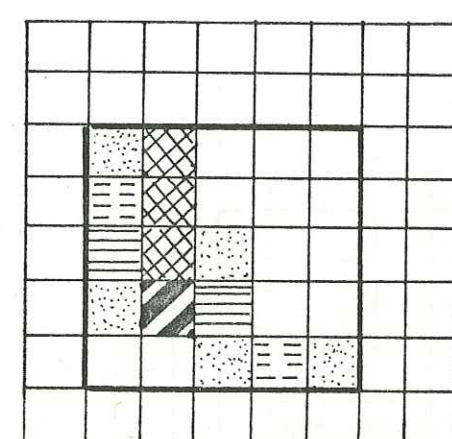
(n)

Estérellite Le Drammont



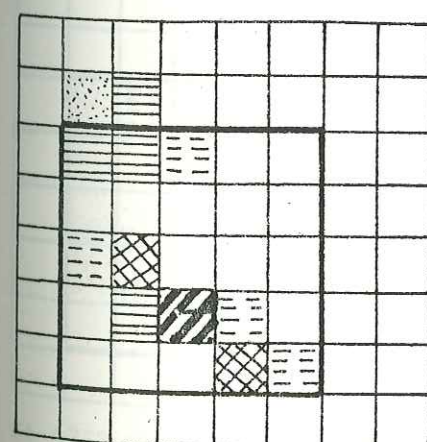
(o)

Estérellite ,Les Caous



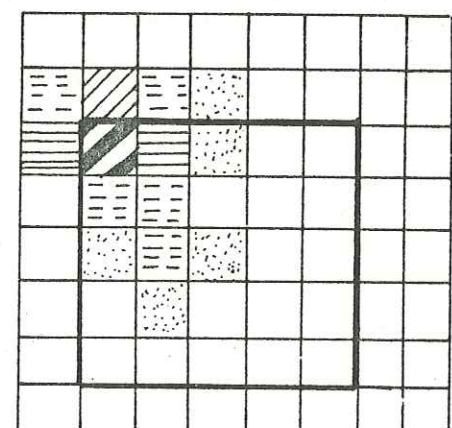
(p)

Estérellite, Pierre Levée



(q)

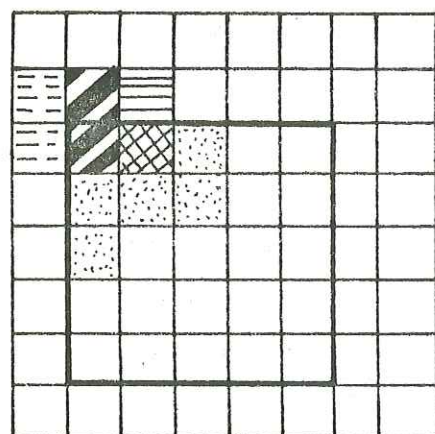
Estérellite, Les Ferrières



(r)

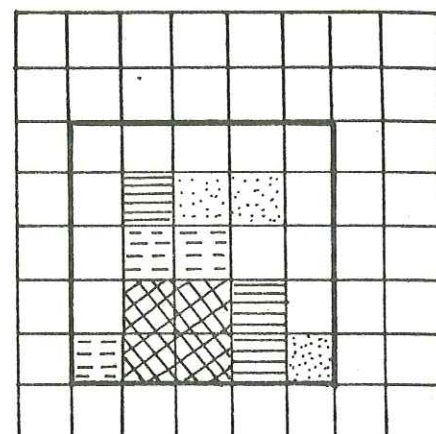
Estérellite , Point Coté 90,2





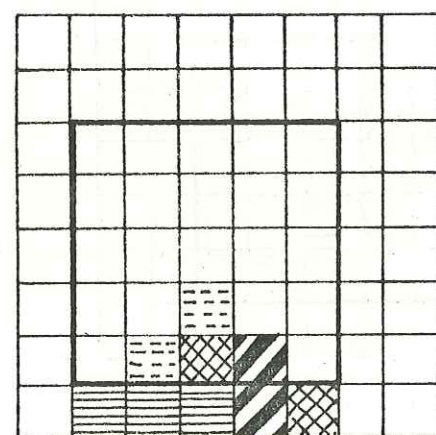
(s)

P.L. 350 Enclave de Trondjémite  
(dans l'Estérellite)



(t)

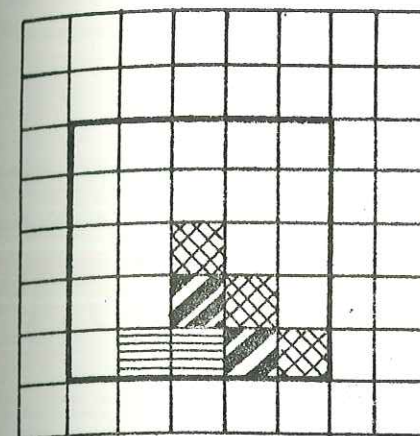
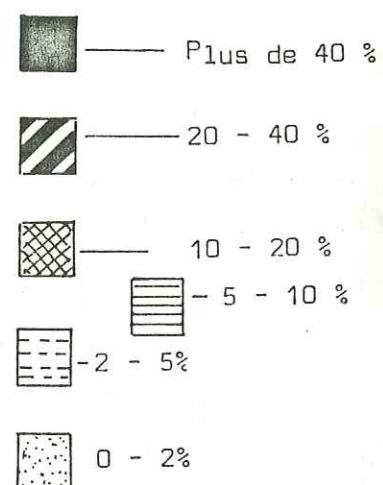
P.L. 292 Grauwacke (Synclinal de  
Barrême)



(u)

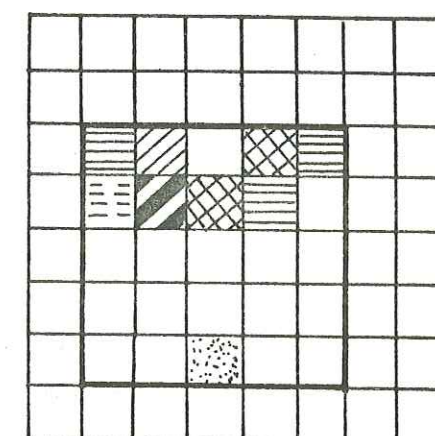
FO<sub>1</sub> cinérite interstratifiée dans  
l'Oligocène (Forcalquier).

Figure 123 (suite) (s) à (u)



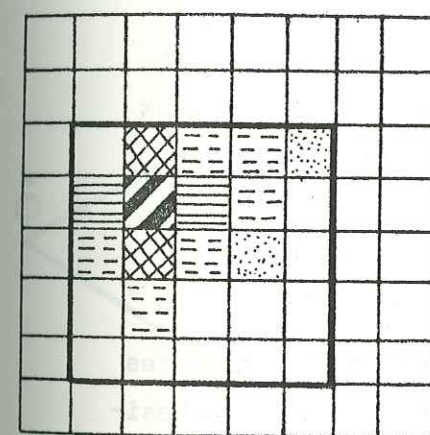
(v)

Sa 119 Andésite (Sardaigne)  
série SA3 (in C.Coulon 1977)



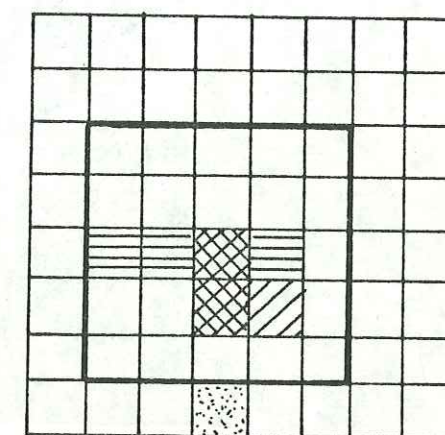
(w)

Sa 1751 Andési - dacite (Sardaigne)  
série SA3 (in C.Coulon 1977)



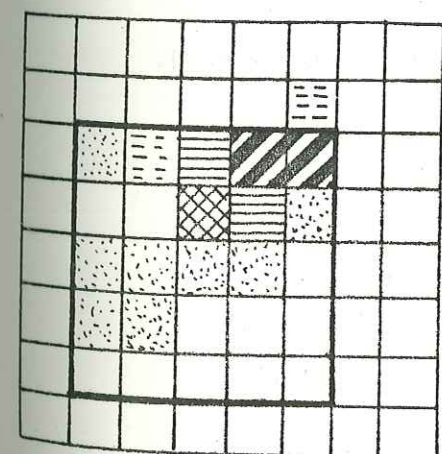
(x)

Sa 722 Dacite (Sardaigne)  
série SA3 (in C.Coulon 1977)



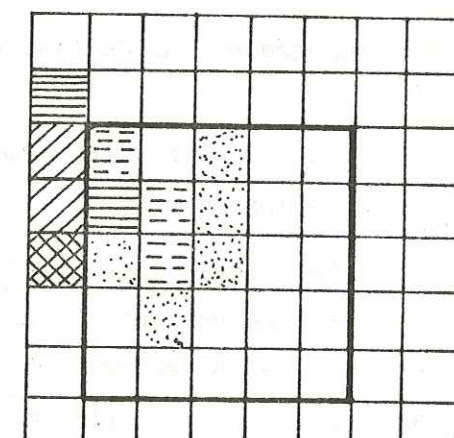
(y)

Sa 30 Dacite (Sardaigne)  
série SA3 (in C.Coulon 1977)



(z)

Sa 1753 Rhyo - dacite (Sardaigne)  
série SA3 (in C.Coulon 1977)



(z')

Sa Gi.31 : Dacite (porphyre d'Alghero)  
Sardaigne

Figure 123 (suite et fin) (v) à (z')



## B 2) L'ENSEMBLE SEPTENTRIONAL : PROVINCE DU CHAMPSAUR ET SYNCLINAL DE THONES.

### 2a) Les plagioclases. (Fig.124 & 125).

\* DANS LES LAVES DU CHAMPSAUR, les plagioclases sont intensément transformés par le métamorphisme alpin.

L'altération la plus fréquente est l'albitisation qui transforme aussi bien les phénocristaux que les microcristaux. L'utilisation de la microsonde électronique en topographie élémentaire (image du Ca) permet de matérialiser certaines zones du plagioclase où le calcium n'a

pas été affecté par l'albitisation.

Les plagioclases albitisés se reconnaissent des albites par un taux de sodium plus faible que celui des albites types (Deer, Howie,, Zussmann, 1964).

Dans certaines andésites on a pu évaluer la basicité des plagioclases non albitisés. Il s'agit d'Oligoclases.

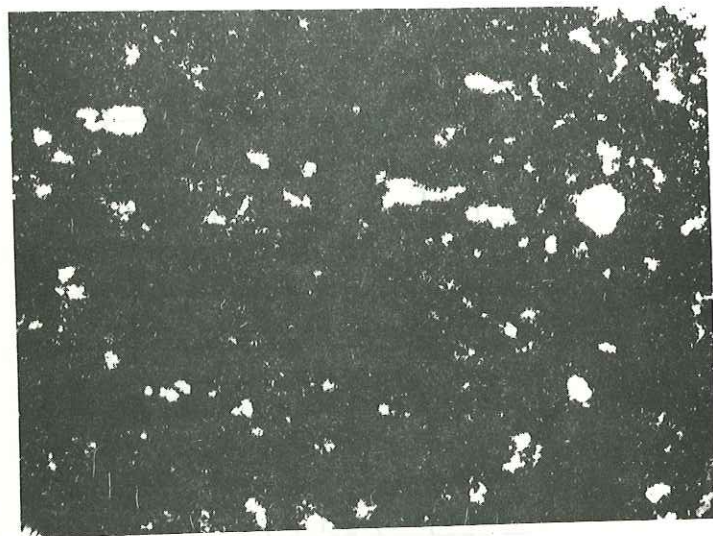
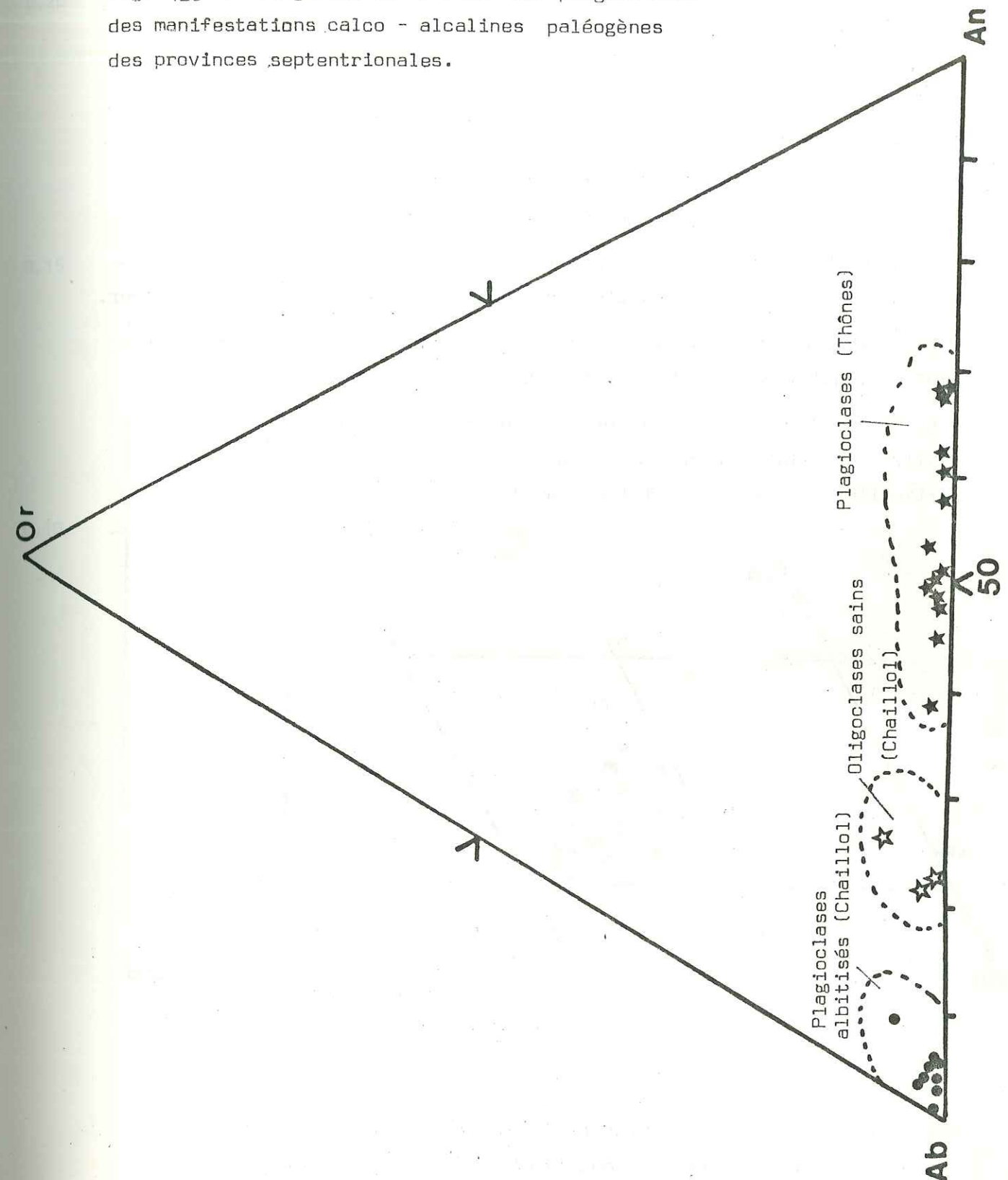


Figure 124 : Topographie du Calcium dans un plagioclase albitisé (x 400).

\* DANS LES LAVES DU SYNCLINAL DE THONES ET LA REGION DE CLUSES.

Les plagioclases sont fortement zonés. On observe des zonages conformes (An 67 centre - An 46 - An 49 - An 43 bord) et des zonages inverses (An 38 centre - An 49 - An 42 - An 50 bord). Bien que moins affectés par le métamorphisme alpin, certains cristaux de plagioclase sont albitisés (G. Vitally, 1980).

Fig. 125 : Diagramme Or, Ab, An des plagioclases des manifestations calco - alcalines paléogènes des provinces septentrionales.





## 2b ) Les pyroxènes.

Les clinopyroxènes sont représentés par des augites et augites à tendance salitique (Fig.126).

L'orthopyroxène est absent dans les laves des provinces septentrionales. Les éléments chimiques majeurs ne montrent pas de variations significatives.

Le diagramme  $Al - Ti = f(Si)$  montre que les augites du Champsaur sont légèrement plus alumineuses que celles de Thônes (Fig.127).

Le taux de Fer ferrique estimé par la méthode de Hamm et Vieten est plus abondant dans les laves du secteur de Thônes que dans les laves du Champsaur.

Nous avons reporté les points représentatifs des clinopyroxènes des laves septentrionales dans le diagramme de Leterrier et Maury (Fig.128).

Dans le cas de ces roches, il est intéressant de pouvoir éliminer la possibilité de clinopyroxènes provenant du démantèlement de spilites (en particulier dans les grès du Champsaur).

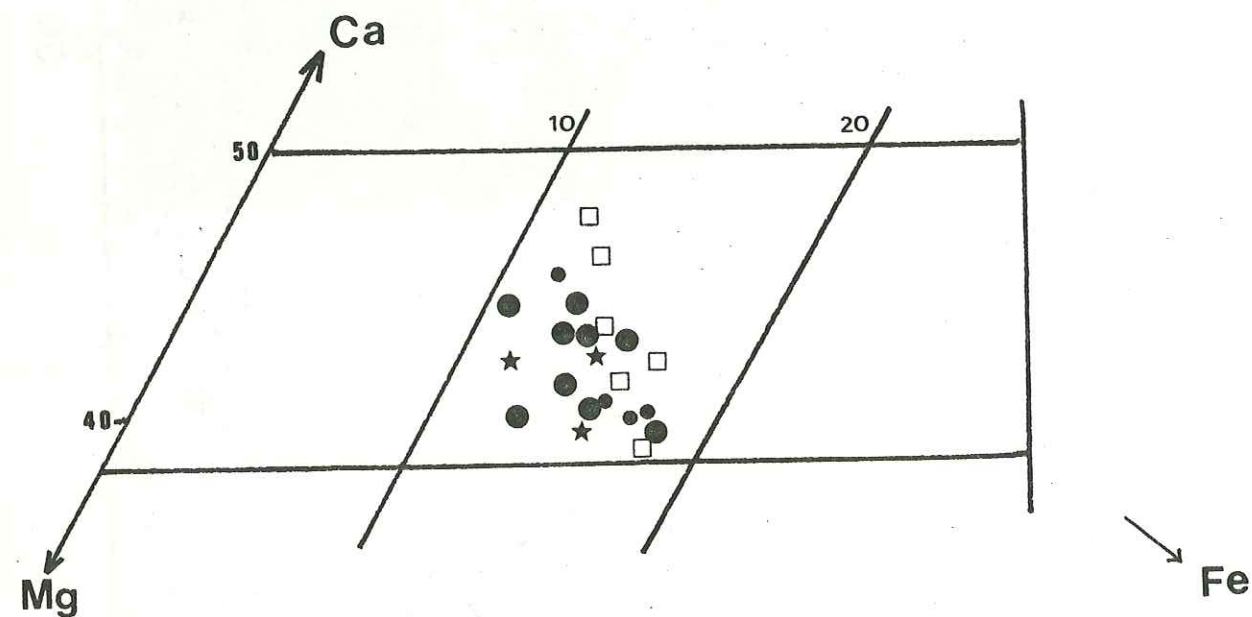


Figure 126 : Points représentatifs des clinopyroxènes des provinces septentrionales dans la classification de Poldervaart et Hess (1951).

□ Champsaur      Thônes fragments      Thônes cristaux  
★ Thônes tuffisites      ● de lave      ● remaniés

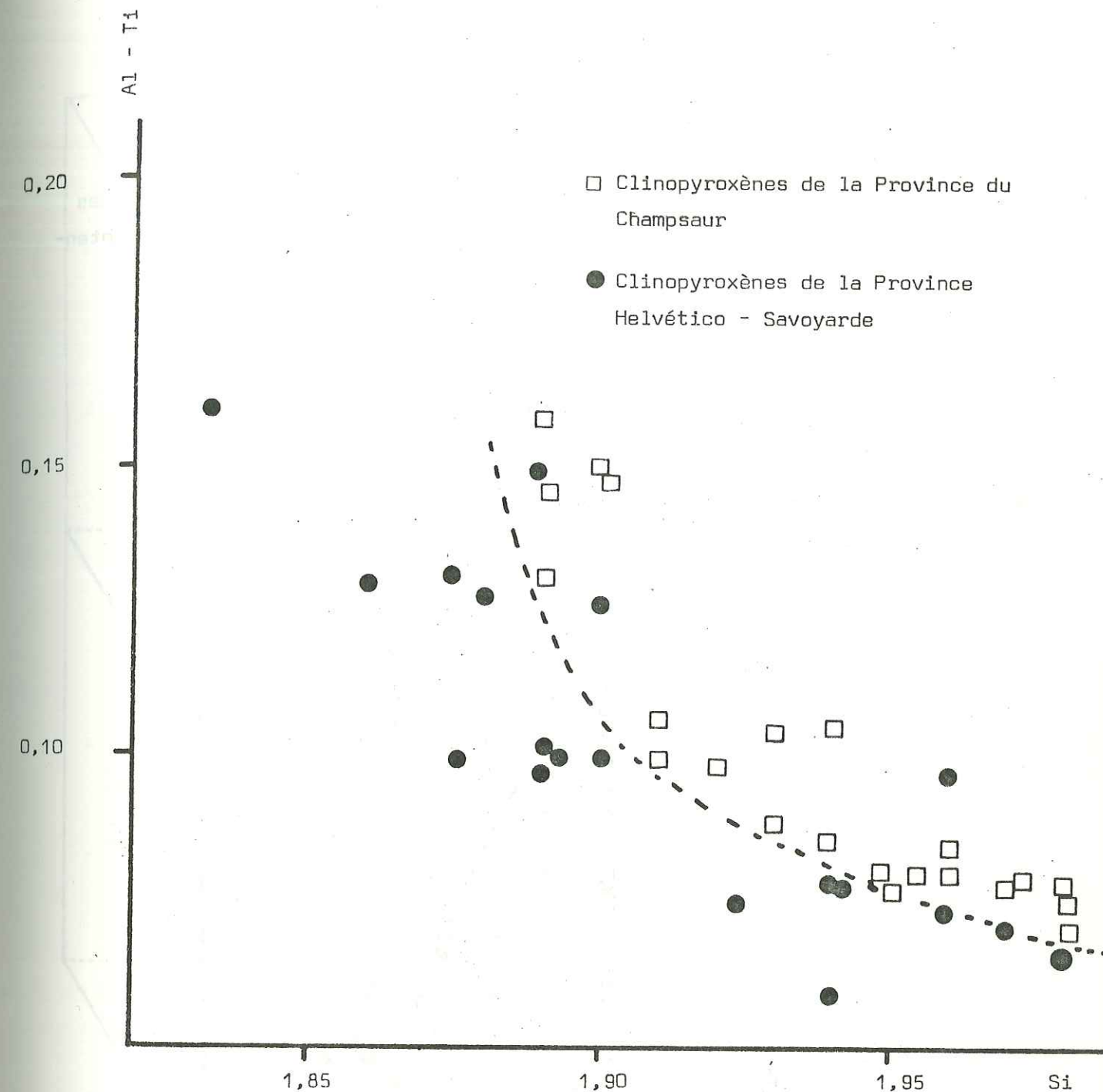
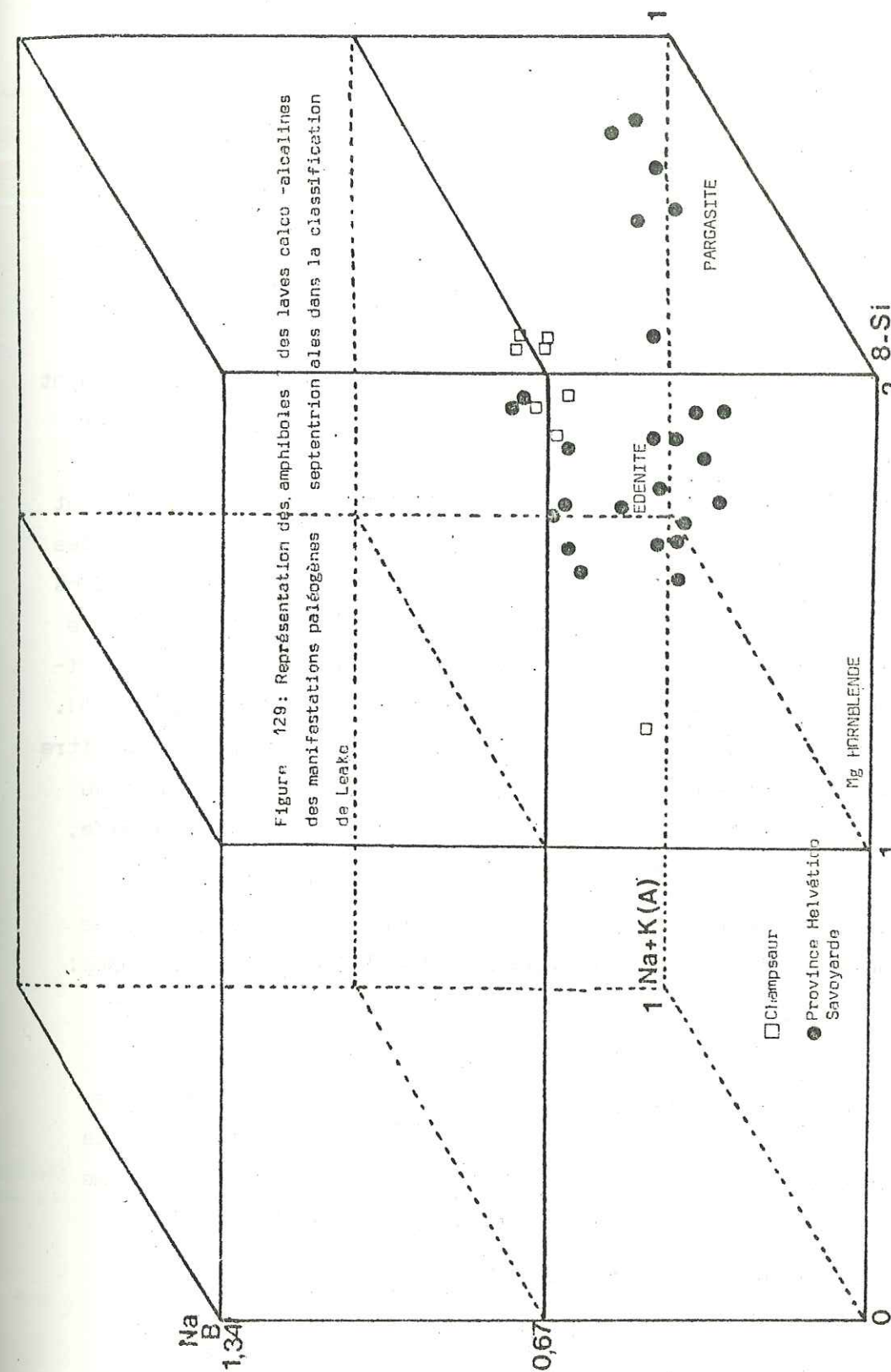
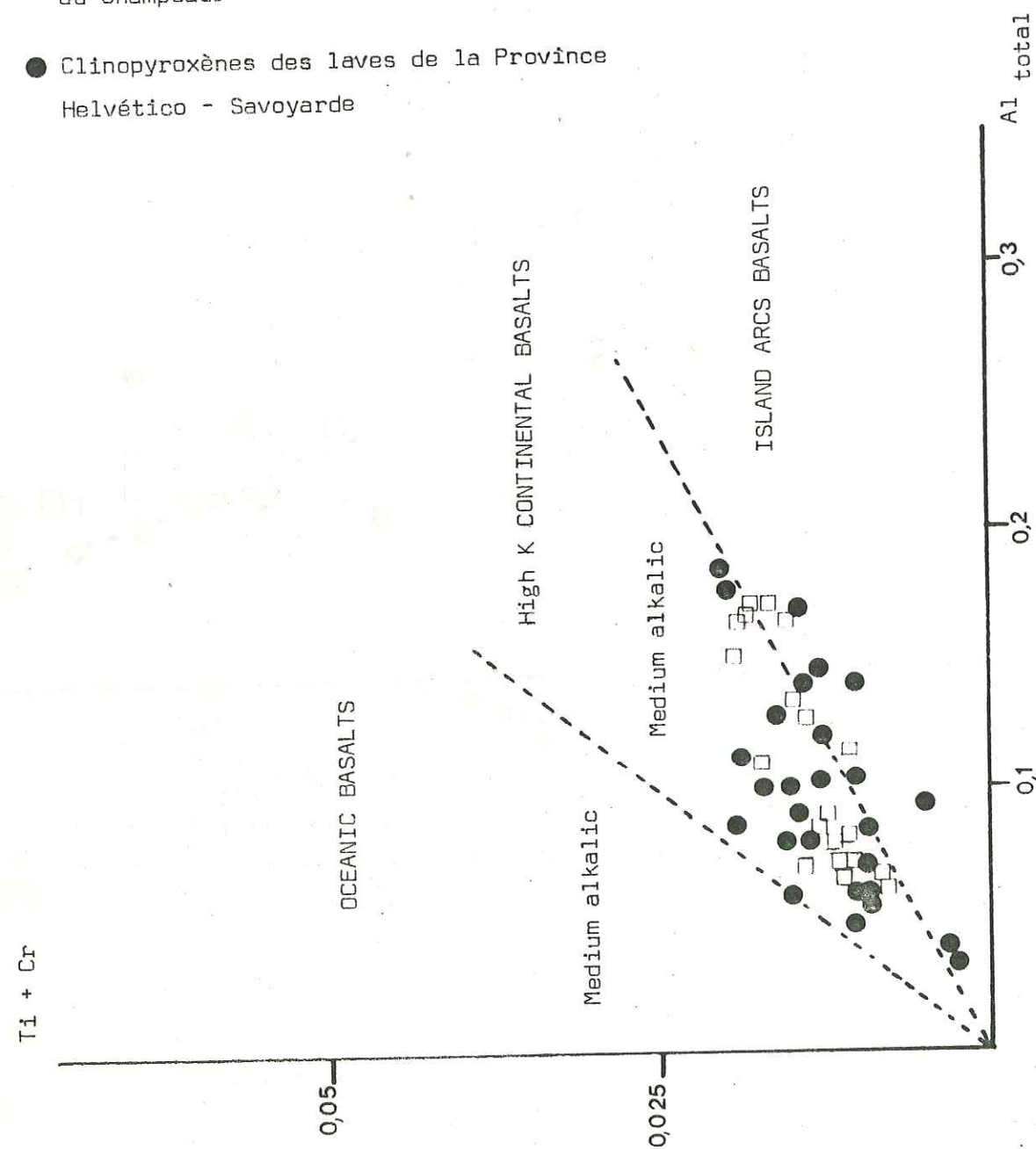


Figure 127 : Diagramme  $Al - Ti$  fonction de  $Si$  dans les pyroxènes des manifestations calco -alcalines des provinces paléogènes septentrionales.



Figure 128 : Diagramme de Leterrier et Maury pour les clinopyroxènes des laves calco - alcalines paléogènes des provinces septentrionales.

- Clinopyroxènes des laves de la Province du Champsaur
- Clinopyroxènes des laves de la Province Helvético - Savoyarde





## 2c) Les amphiboles.

Leur étude a été conduite de la même façon que dans le cas des laves des provinces méridionales.

On remarque, tout d'abord, que l'amphibole est très abondante dans les andésites et dacites des Provinces III et IV. Elle montre moins souvent le phénomène de résorption. L'étude au microscope montre qu'il s'agit d'une amphibole brune, fortement pléochroïque.

Dans la classification de Leake (Fig.129) ces amphiboles se répartissent en Pargasites et en Hornblendes magnésiennes. Si l'on observe la répartition des points représentatifs sur la face  $Na_B = 0$  (Fig.130) on remarque que les amphiboles des laves du Champsaur sont des Pargasites et que, dans les laves du synclinal de Thônes, les deux types d'amphiboles (Pargasites et Hornblendes magnésiennes) co-existent. On retrouve, dans le cas des andésites de la Province Helvético-Savoyarde, la bimodalité de composition que l'on avait mise en évidence dans les provinces méridionales (Fig.116). Cette bimodalité est bien illustrée par la Fig.131. Les variations de l' $Al_{total}$  en fonction de Si (Fig.132) font apparaître une relative homogénéité de composition dans le cas des amphiboles du Champsaur et confirme, dans le cas de la Province Helvético-Savoyarde, l'association de Pargasites et de Hornblendes magnésiennes.

L'évolution du rapport Fe / Mg en fonction de Fe (Fig.132) montre que les amphiboles du Champsaur sont plus ferrifères que celles de Thônes.

## 2d) Les oxydes de Fer.

Il s'agit, essentiellement, de magnétites et de titanomagnétites. Dans les laves du Champsaur, les opaques sont transformés fréquemment en pyrites en raison, vraisemblablement, du métamorphisme alpin.

Les points représentatifs de ces minéraux ont été reportés dans le diagramme  $TiO_2$ , FeO,  $Fe_2O_3$  (Fig.133).

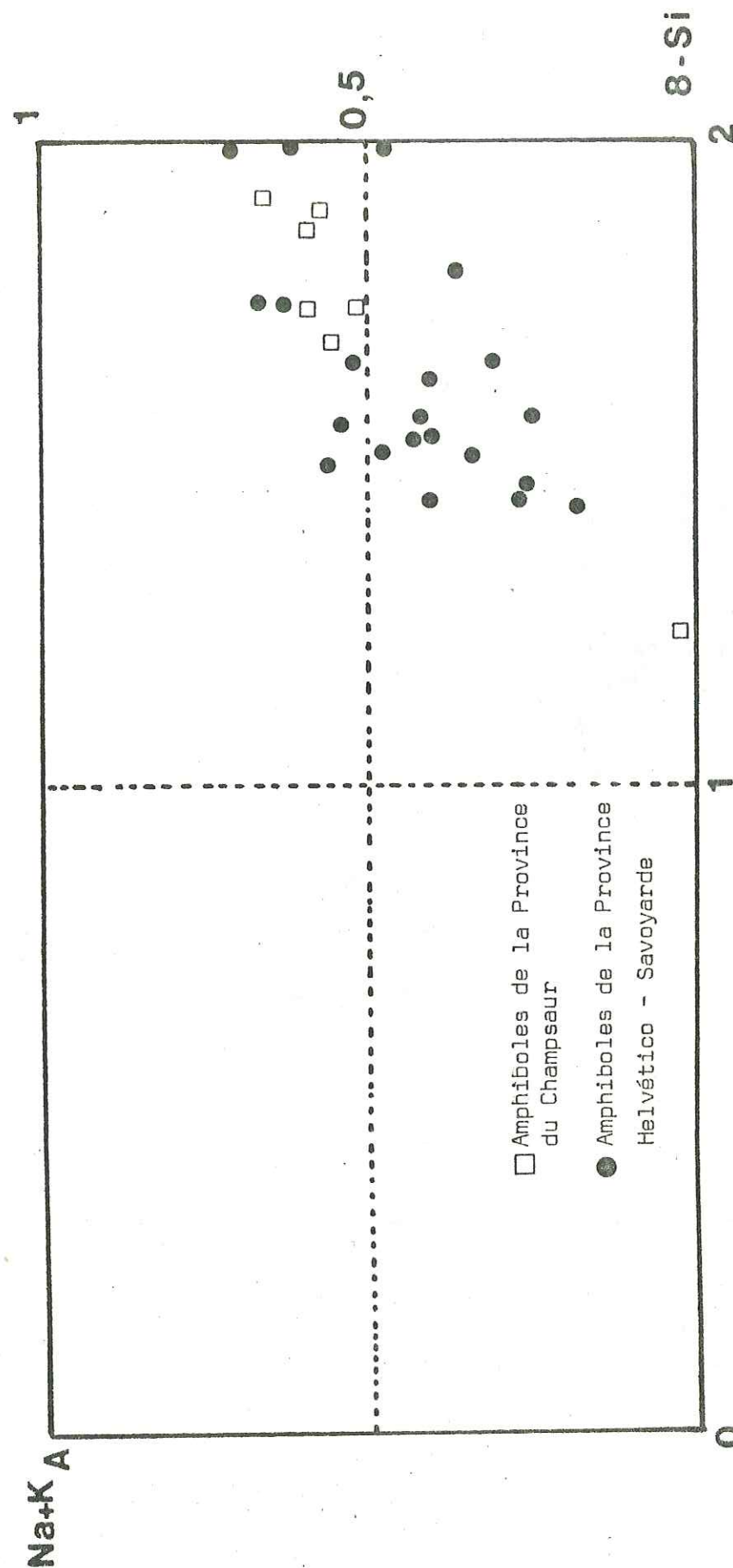


Figure 130 : Projection sur le plan  $Na_B = 0$  des amphiboles des laves calco-alcalines paléogènes des provinces septentrionales



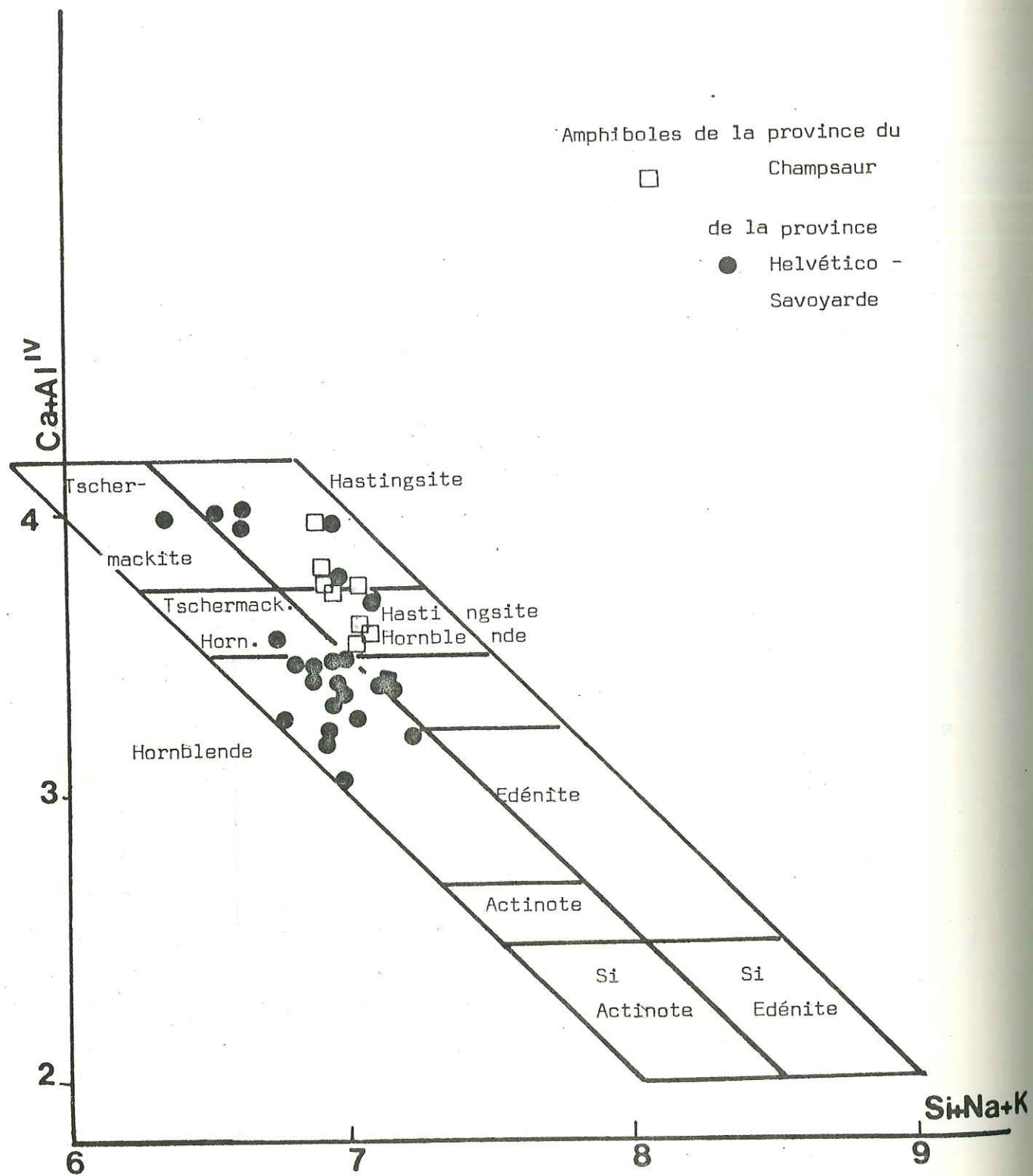


Figure 131 : Représentation des amphiboles des laves calco - alcalines des provinces septentrionales dans la classification de B.Bonin (1980)

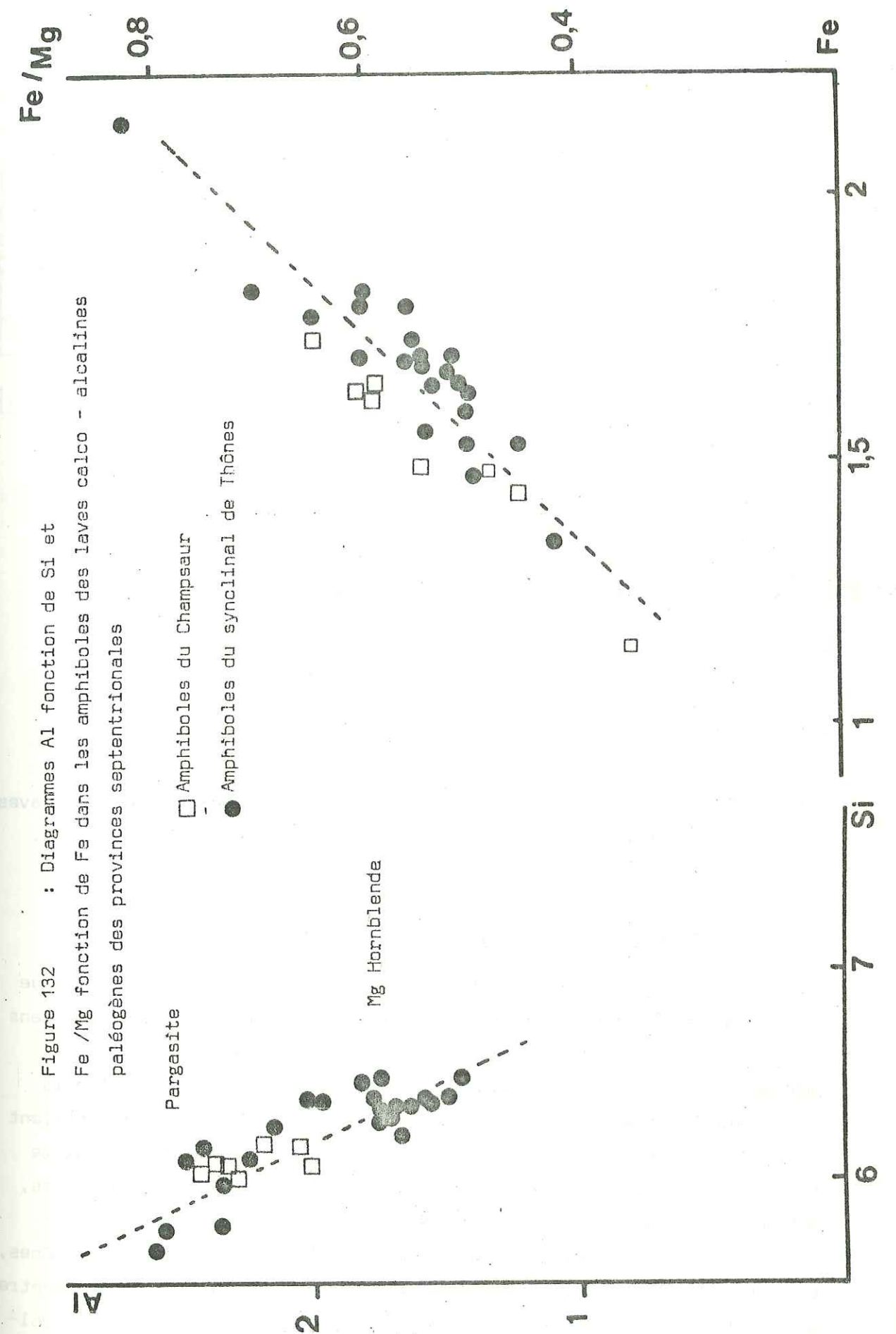


Figure 132 : Diagrammes Al fonction de Si et Fe /Mg fonction de Fe dans les amphiboles des laves calco - alcalines paléogènes des provinces septentrionales



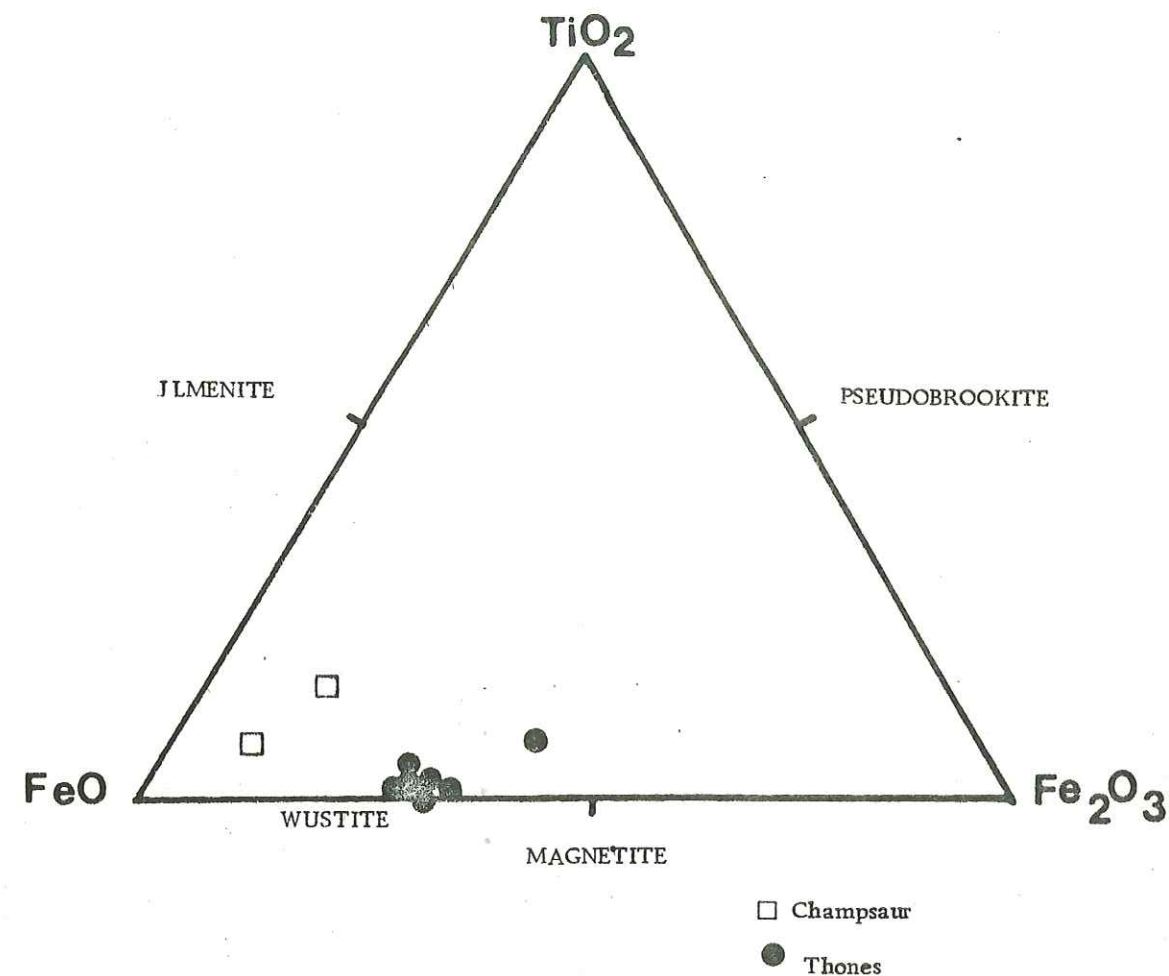
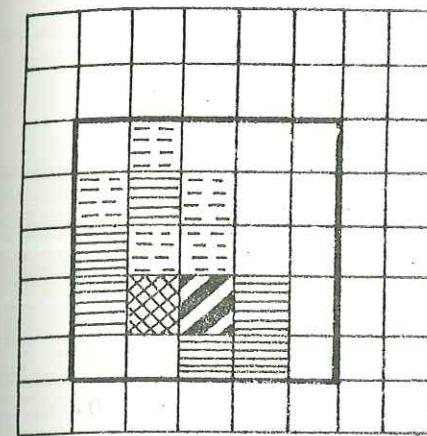


Figure 133 : Diagramme  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  des minéraux opaques des laves calco-alcalines paléogènes des provinces septentrionales.

#### 2e) Les minéraux accessoires : typologie du zircon.

Cette étude typologique du zircon accessoire a été rendue quasi-impossible par l'abondance des zircons détritiques sédimentés dans le bassin des grès de Taveyenne et des grès du Champsaur. Les niveaux monogéniques, à zircons volcaniques, sont très rares. Ceci tient à la dynamique des éruptions. Nous avons vu que les produits éruptifs étaient mélangés au sédiment non consolidé. Les zircons typiques du volcanisme calco-alcalin tertiaire se trouvent mélangés à des zircons de granites, de roches métamorphiques dont le démantèlement agissait durant la période d'activité volcanique synsédimentaire. Dans le synclinal de Thônes, cependant, un grès riche en matériel volcanique (N° Ta21, Fig.134) montre une population de zircons accessoires typiquement calco-alcaline et volcanique analogue à celle des grauwackes rencontrés dans les provinces méridionales (Synclinal de Barrême).



Ta D<sub>1</sub> Grès riche en matériel andésitique Synclinal de Thônes (éch. J.Didier)

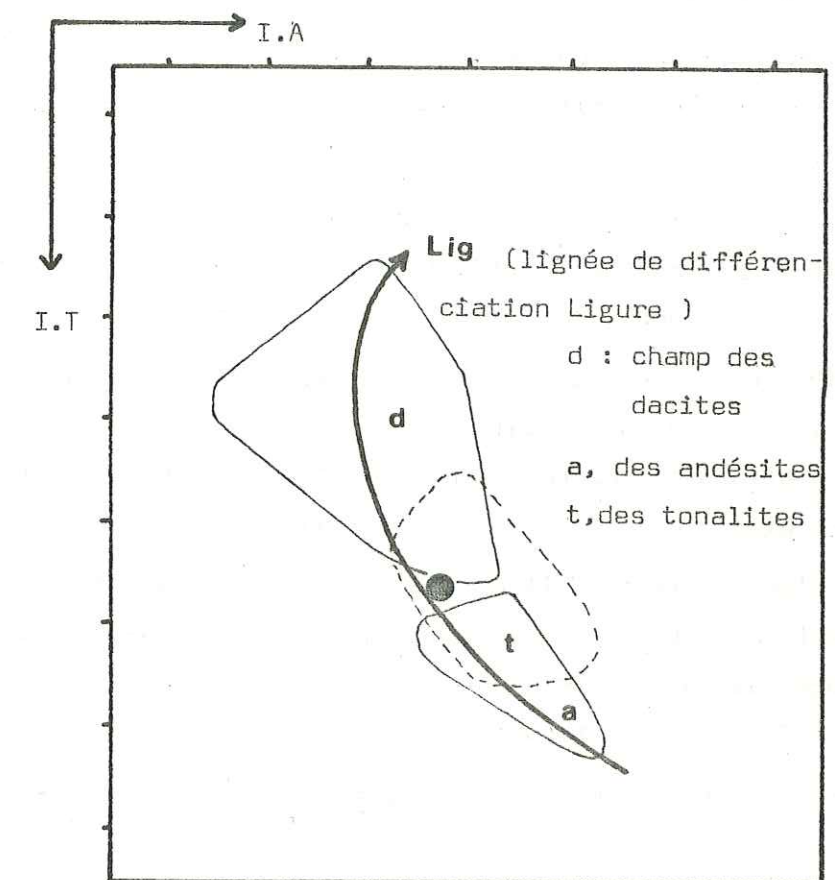


Figure 134 : Distribution typologique et point représentatif dans le diagramme I.A, I.T d'une population de zircons volcaniques extraite du grès riche en matériel volcanique du synclinal de Thônes (Ech. Ta D.1)



### B 3) ANALOGIES ET DIFFERENCES MINÉRALOGIQUES ENTRE PROVINCES MÉRIDIIONALES ET PROVINCES SEPTENTRIONALES.

La comparaison entre les paragenèses minéralogiques des deux ensembles que nous venons d'étudier est rendue délicate par le fait que les laves des provinces septentrionales ont subi le métamorphisme alpin.

Certains minéraux comme les plagioclases ou les opaques sont particulièrement sensibles à ces phénomènes. Seuls les minéraux ferro-magnésiens (amphiboles et pyroxènes) restent significatifs.

Les caractères minéralogiques dominants confirment la nature calco-alcaline du magmatisme paléogène des provinces méridionales.

Au niveau des amphiboles et des pyroxènes, il existe une très nette analogie entre les manifestations volcaniques méridionales et septentrionales.

L'étude du zircon accessoire, rendue délicate par la complexité des apports détritiques extérieurs au bassin de sédimentation (synclinal de Thônes) n'a pas été approfondie dans le cas des provinces septentrionales.

La différence essentielle entre provinces méridionales et septentrionales est l'absence totale d'orthopyroxène dans les laves des provinces septentrionales. Cette absence de l'hypersthène correspond à une abondance plus grande de l'amphibole dans les provinces septentrionales.

Signalons, enfin, qu'il ne semble pas que l'on puisse individualiser au sein des provinces septentrionales des tendances d'évolution des paragenèses minéralogiques en rapport avec l'existence de processus de différenciation importants.

L'étude de la géochimie des éléments majeurs et des traces confirmera ce diagnostic.

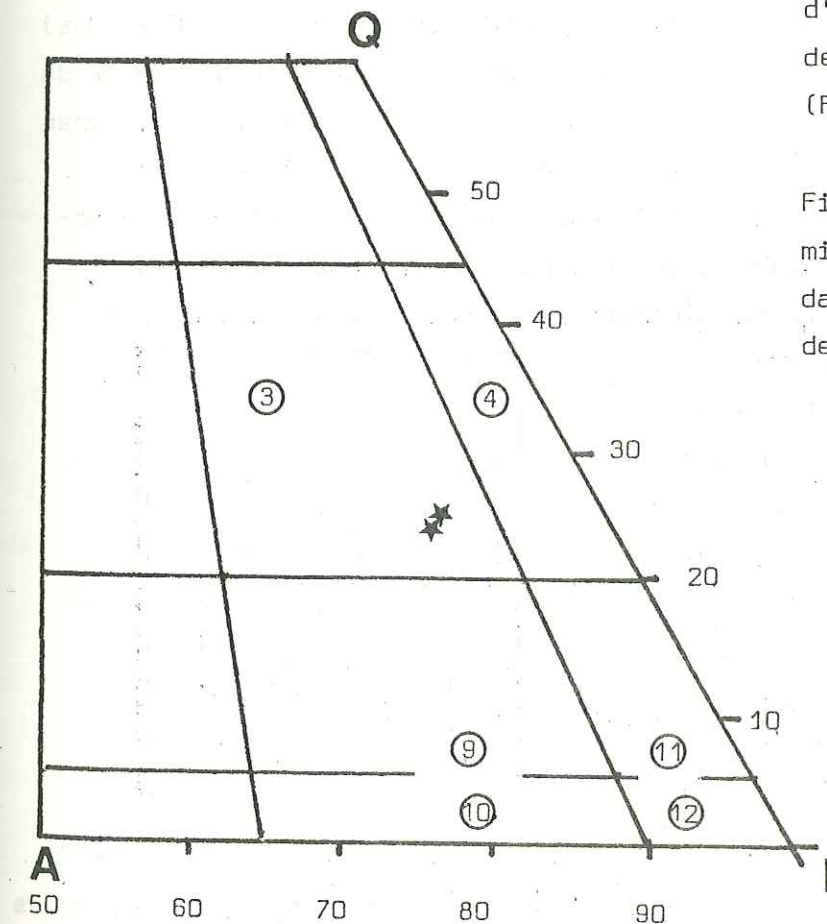
### C) DONNEES NOUVELLES SUR DES ROCHES VOLCANIQUES APPARENTEES AUX MANIFESTATIONS PALEOGENES CALCO-ALCALINES DES ALPES OCCIDENTALES.

#### C 1) L'"ESTERELLITE" D'ALGHERO (Sardaigne).

Cette roche, d'aspect analogue aux estérellites du massif de l'Estérel affleure dans l'anse de Cala Bona, immédiatement au Sud d'Alghero.

Il s'agit de microdiorites quartziques à biotite, et cordiérite automorphe (J.P. Pupin, comm. orale, 1980). L'étude pétrographique de cette roche révèle un caractère très alumineux confirmé par la présence de phénocristaux d'un silicate d'alumine malheureusement très altéré. L'âge de la formation, estimé à  $-27 \pm 1,5$  M.A. (J-D. Giraud, H. Bellon, 1979) apparente la roche d'Alghero aux premières manifestations calco-alcalines tertiaires de Sardaigne (C. Coulon, 1977).

Nous avons reporté le point représentatif de la microdiorite quartzique d'Alghero dans le diagramme de K.W. Wedepohl (1969) (Fig.135).



(3) Rhyodacites ; (4) Dacites  
(9) Latite - Andésite  
Roche d'Alghero



Localisation de l'Affleurement de microdiorite quartzique d'Alghero.



Du point de vue minéralogique, la roche contient un plagioclase zoné ( $An_{70}$  à  $An_{30}$ ). Les microcristaux sont des oligoclases acides ( $An_{20}$ ). Le quartz, présent sous forme de phénocristaux automorphes, est peu abondant (moins de 10%). Les opaques, représentés par de la magnétite, cristallisent sous forme de phénocristaux et de microcristaux.

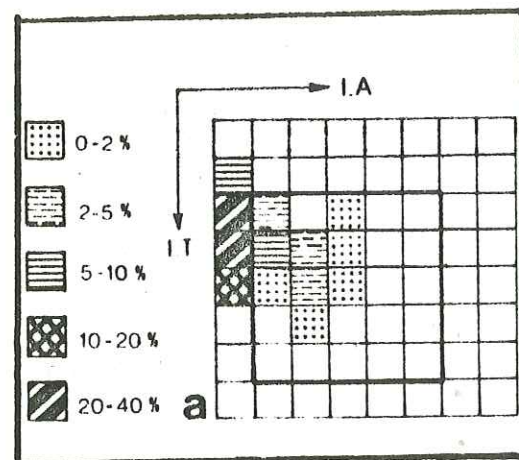


Figure 135a : Distribution typologique des zircons de la roche d'Alghero.

Tendance d'Evolution Typologique très particulière ( $S_{17}$  à H). Ces caractères, bien que moins marqués se retrouvent dans les estérellites du Massif de L'estérel. L'intrusion d'Alghero prend, semble-t-il, en Sardaigne, la signification d'autres granitoïdes connus en Méditerranée occidentale ou en Afrique du Nord (Herbillon, Cavallo, Bejaïa Amizour, Estérellite, Galite). Le diagramme I.A., I.T. (Fig.135b) situe la roche d'Alghero par rapport à quelques uns de ces granitoïdes et par rapport aux diorites quartziques et autres plutonites.

S : roche d'Alghero ;  
e : Estérellite à pyroxène  
El: Plutonites de l'Ile d'Elbe  
He: Microgranite d'Herbillon  
R.Pl. : Ensemble des plutonites  
DQ: Ensemble des diorites quartziques.

L'étude typologique du zircon accessoire montre que cette roche correspond à un terme de différenciation calco-alcalin riche en alumine.

Dans le diagramme I.A., I.T., le point représentatif de la roche d'Alghero se situe dans la partie gauche dans une zone où aucune roche n'était jusqu'alors représentée (J-D. Giraud, J.P. Pupin, 1979) (Fig.135b).

Le fort développement des pyramides (211) et (112) qui traduisent (Fig.135a) le caractère nettement hyperalumineux de la roche conduit à l'apparition de types très rares (H, Q, UZ, LZ) et à une

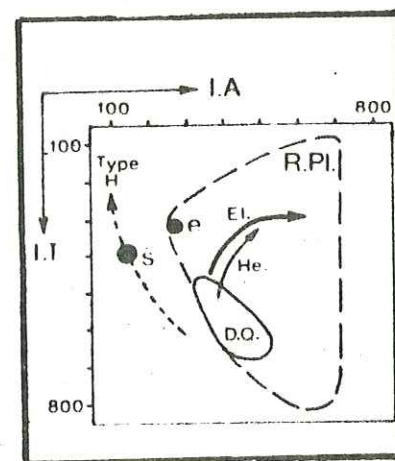


Figure 135b : Diagramme I.A., I.T. de la roche d'Alghero et de quelques plutonites choisies à titre comparatif.

## C 2) L'IGNIMBRITE DE CAPU BIANCU (Corse orientale).

La roche, déjà signalée par F. Orszag Sperber (1978) montre une texture vitroclastique fruste. Le degré de tassement est faible et les fragments de ponces sont souvent intacts. La formation est presque essentiellement vitreuse à l'exception de quelques cristaux de quartz, hornblende et biotite.

Dans la classification Q - A - P de K.W. Wedepohl (1969), le point représentatif de la formation de Capu Biancu s'inscrit dans le champ des Rhyodacites (Fig.136).

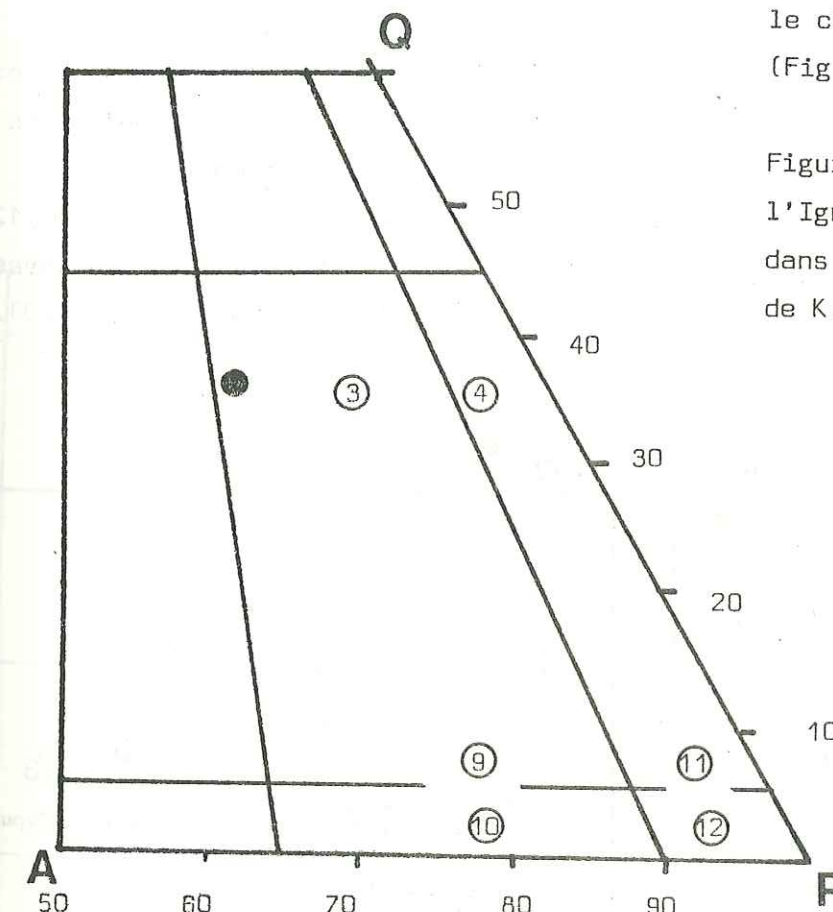
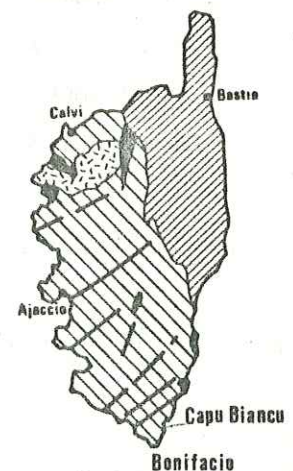


Figure 136 : Position de l'Ignimbrite de Capu Biancu dans la représentation Q - A - P de K.W. Wedepohl (1969).

(3) Rhyodacites  
(4) Dacites  
(9) Latite - Andésites

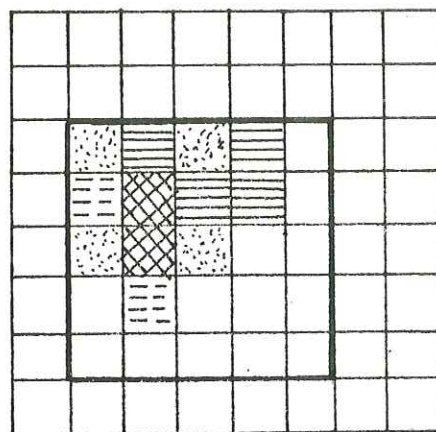


Localisation de l'affleurement de Capu Biancu

(3) Rhyodacites  
(4) Dacites  
(9) Latite - Andésite



L'étude typologique du zircon accessoire montre que cette roche correspond à une manifestation calco-alcaline dont la tendance d'évolution typologique est comparable à celle des dacites et rhyodacites de Sardaigne (voir Sa 1751, p. 223).



CO<sub>78</sub> Ignimbrite calco-alcaline Capu Biancu (Ballistra) Corse.

de la série andésitique terminale de Sardaigne (S.A.3, voir Figure 123).

Les zircons sont parfaitement limpides présentent, à leur périphérie, des gaines vitreuses analogues à celles que l'on observe dans les lapilli cristallins. Les inclusions sont abondantes ainsi que les gradins de croissance. Les types les plus représentés sont les formes S<sub>7</sub> et S<sub>12</sub>. La tendance d'évolution typologique montre une évolution vers le sommet situé à droite du diagramme de distribution. Cette inflexion, absente dans les populations de zircons des laves calco-alcalines paléogènes des Alpes occidentales (Fig.123) est, par contre, présente dans les laves

Nous avons représenté, sur le diagramme en coordonnées I.A., I.T. l'ignimbrite de Capu Biancu et nous l'avons comparée aux manifestations calco-alcalines tertiaires de Sardaigne (Fig.137).

- ■ P.L. Roches des Provinces paléogènes méridionales périalpines (Liguro - Provençal)
- ■ ▲ Sa Roches de la Série SA3 de Sardaigne
- dc Microdiorite à cordiérite d'Alghero
- Algh : tendance d'évolution typologique de la roche d'Alghero
- Lig : lignée d'évolution de la province Liguro - Provençale
- Sa 3 : lignée d'évolution de la série Sarde
- a : champ des andésites, d des dacites t des tonalites, rd des rhyodacites

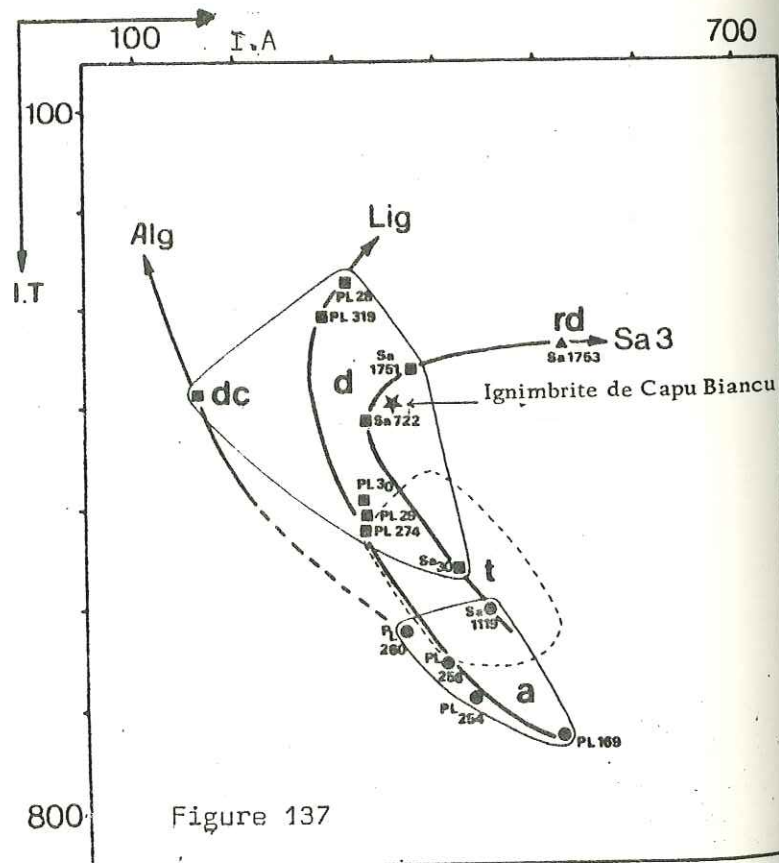


Figure 137

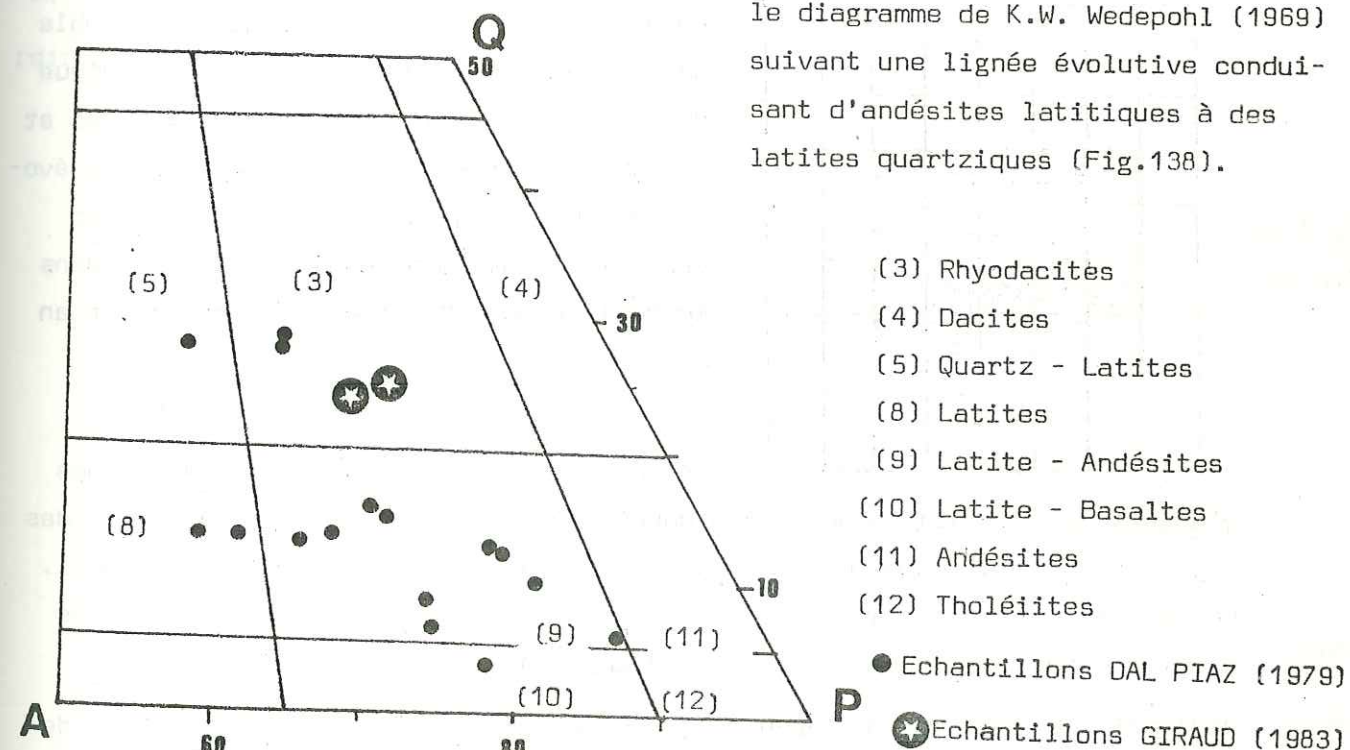
### C 3) LES ANDESITES ET DACITES DU BIELLESE (Piémont).

Ces roches ont un âge comparable aux différentes manifestations magmatiques que nous venons de décrire dans la zone occidentale de l'arc alpin. Leur position interne, vis-à-vis des manifestations qui nous intéressent, leur donne une signification géodynamique intéressante. Nous y reviendrons ultérieurement.

Les filons de lave oligocènes de la Province de Biella ont été étudiés en détail en particulier par G.V. Dal Piaz et ses collaborateurs (1979).

Les andésites du secteur de Biella et les roches qui leur sont associées peuvent être différenciées les unes des autres par leur taux de potassium qui varie sensiblement. On observe, dans cette zone, l'association de roches faiblement à moyennement alcalines (potassiques) à des roches hyperpotassiques (andésites, K-andésites et ultra rich K-lamprophyres, in G.V. Dal Piaz, 1979)

L'étude pétrographique de ces roches montre qu'elles se distribuent dans le diagramme de K.W. Wedepohl (1969) suivant une lignée évolutive conduisant d'andésites latitiques à des latites quartziques (Fig.138).



Nous n'avons pas reporté sur ce diagramme les roches lamprophyriques dont les points représentatifs se situent dans les domaines alcalins du diagramme de Wedepohl.

Nous ne connaissons aucun équivalent de ces roches dans les provinces que nous avons étudiées, dans la zone occidentale de l'arc alpin.



Nous retrouvons, dans le secteur de Biella, une disposition analogue à ce que l'on avait observé dans la Province Liguro-Provençale, à savoir l'association de roches légèrement potassiques et de roches potassiques.

Les roches du secteur de Biella sont très altérées. Les pertes au feu (voir Géochimie, ont des valeurs fortes de 1,58 à 9,72).

Pour préciser les caractères pétrographiques de ces roches, nous avons étudié les populations de zircons accessoires des deux andésites que nous avons

échantillonnées à Biella (J.G.12 & J.G.13).

L'étude de la distribution typologique (Fig. 138a & 138b) montre une tendance d'évolution typologique qui s'infléchit dans la partie droite du diagramme. Cette disposition confirme le milieu de cristallisation potassique dans lequel est apparu le zircon ( $\text{SiO}_2 = 59,14$  pour  $\text{K}_2\text{O} = 2,54$  et  $\text{SiO}_2 = 59,52$  pour  $\text{K}_2\text{O} = 2,62$ ).

Au vu de ces premiers résultats, il semble que l'étude de la distribution typologique des zircons dans les roches andésitiques et dacitiques permette de différencier les évolutions magmatiques calco-alcalines avec enrichissement en potassium et celles dans lesquelles se produit un enrichissement en aluminium.

Les points représentatifs des deux roches étudiées dans le diagramme en coordonnées I.A., I.T. se situent à droite des lignes représentatives des séries liguro-provençales et sardes (Fig.138c). Là, encore, il semble que le zircon "enregistre" la nature plus potassique du milieu de cristallisation (J.P. Pupin, 1981).

REMARQUE : Les points représentatifs des deux échantillons "d'andésites" de Biella s'inscrivent dans le champ des dacites (Fig.138c). On peut s'étonner de cette anomalie. En fait, la perte au feu de ces roches s'élève à plus de 5% pour des valeurs de la Silice de 59%. Si l'on calcule la valeur de  $\text{SiO}_2$ , abstraction faite de la perte au feu, on atteint un taux de silice voisin de 63% ce qui devient compatible avec la dénomination de dacite pour les échantillons de Biella.

Fig.138a  
J.G.12

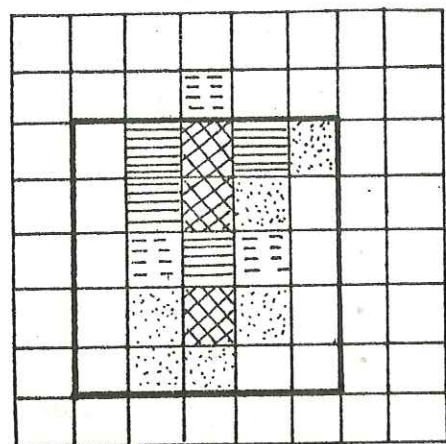


Fig.138b  
J.G.13

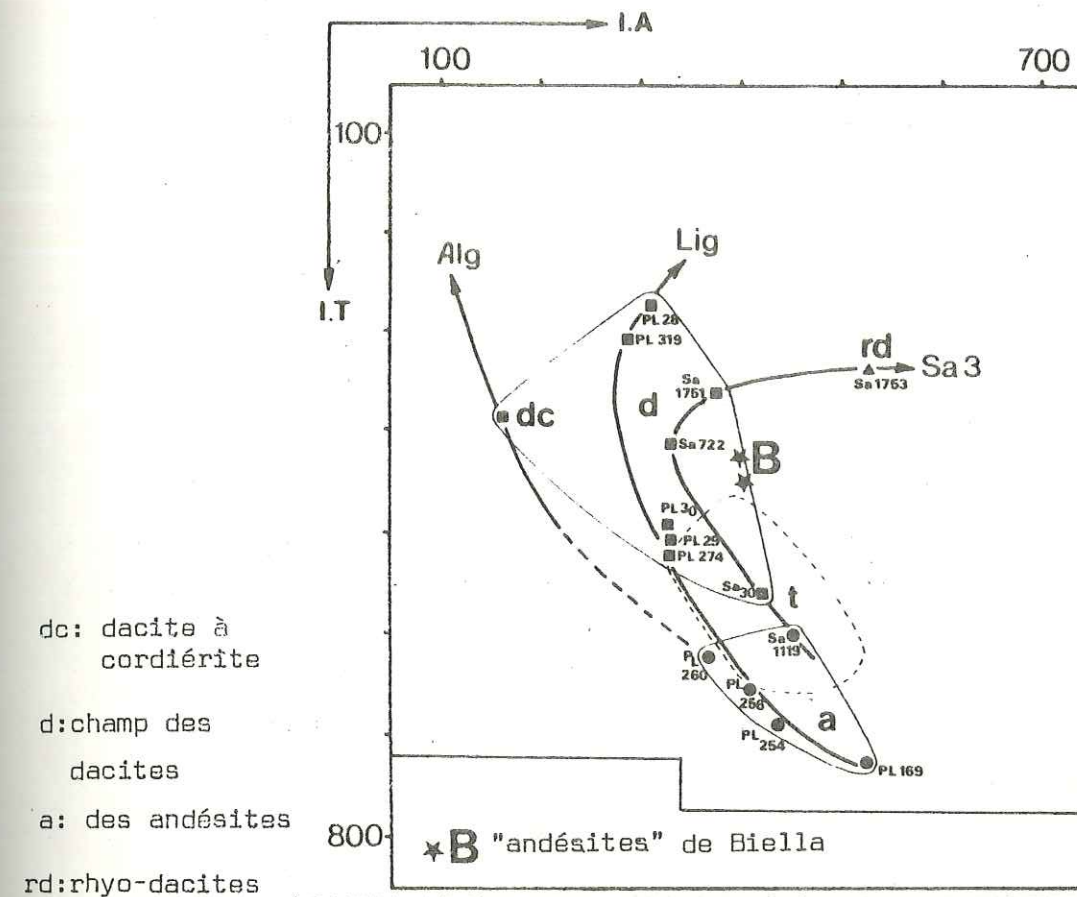
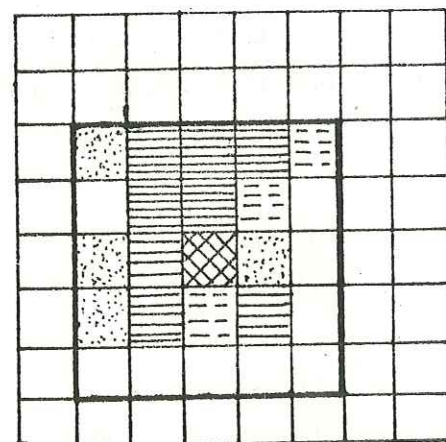


Figure 138c : Représentation en coordonnées I.A., I.T. de deux "andésites" potassiques de la zone de Biella.

(La légende Alg, Lig et  $\text{Sa}_3$  est identique à celle de la Figure 123 ).

#### C 4) CONCLUSIONS A L'ETUDE PETROGRAPHIQUE ET MINERALOGIQUE.

De part et d'autre de l'arc alpin occidental, existent des manifestations calco-alcalines et calco-alcalines potassiques fréquemment associées et mises en place à une période sensiblement identique couvrant le Paléogène.

Les études pétrologiques et minéralogiques (qui s'ajoutent aux données géologiques de terrain) permettent, d'ores et déjà, d'envisager l'existence d'un "arc volcano-plutonique" calco-alcalin dont il reste à préciser les caractères magmatiques dominants par l'étude géochimique.



## CHAPITRE (IV)

---

CARACTERISATION MAGMATIQUE ET PETROGENESE DES  
MANIFESTATIONS VOLCANIQUES ET PLUTONIQUES  
PALEOGENES DES ALPES OCCIDENTALES.  
SIGNIFICATION GEODYNAMIQUE.

### A) LES PROVINCES MERIDIONALES

#### A 1) GEOCHIMIE DES ELEMENTS MAJEURS

A 1-1) Caractères géochimiques généraux

A 1-2) Variation des éléments majeurs en fonction  
de la silice ou d'autres éléments

A 1-3) Variation du taux d'éléments majeurs  
durant la différenciation

A 1-4) Le problème de la zonation spatiale des  
caractères géochimiques dominants

#### A 2) GEOCHIMIE DES ELEMENTS EN TRACES

A 2-1) Les alcalins et alcalino-terreux

A 2-2) Les éléments de transition

#### A 3) GEOCHIMIE COMPAREE

#### A 4) GEOCHIMIE ISOTOPIQUE

### B) LA PROVINCE HELVETICO-SAVOYARDE

#### B 1) GEOCHIMIE DES ELEMENTS MAJEURS

B 1-1) Caractères géochimiques dominants

B 1-2) Variation des éléments majeurs en fonction  
de l'indice de solidification

B 1-3) L'altération des roches, cause probable  
des anomalies géochimiques

B 1-4) Conclusions à l'étude des éléments majeurs



C) PETROGENESE DES MANIFESTATIONS VOLCANIQUES ET  
PLUTONIQUES PALEOGENES DES ALPES OCCIDENTALES

C 1) PETROGENESE DES MANIFESTATIONS MERIDIONALES

C 1-1) Différenciation de la série liguro-provençale

C 2) PETROGENESE DES LAVES DE LA PROVINCE  
HELVETICO-SAVOYARDE

C 3) ORIGINE DES LAVES CALCO-ALCALINES PALEOGENES  
DES ALPES OCCIDENTALES

C 3-1) Caractères dominants

C 3-2) Rappels sur l'origine des  
suites calco-alkalines

C 3-3) Origine de la série calco-alkaline des  
provinces paléogènes méridionales

C 3-4) Origine des laves calco-alkalines des  
provinces septentrionales

D) SIGNIFICATION GEODYNAMIQUE DU VOLCANISME  
CALCO-ALCALIN PALEOGENE DES ALPES OCCIDENTALES

D 1) VOLCANISME ALPIN ET SUBDUCTION

D 2) POSITION DU PROBLEME

D 3) MODELE GEODYNAMIQUE PROPOSE



SiO <sub>2</sub> < 52%			52 < SiO <sub>2</sub> < 56%		56 < SiO <sub>2</sub> < 63%						63 < SiO <sub>2</sub> < 69%			sup. 69%
	Enclaves		Ligue	Ligue	Sub-Alpin	Estérel-lites	Ligue low K	Ligue high K	sub-Alpin High K	sub-Alpin low K	Estérel-lites	Ligue	sub-Alpin	Enclaves Trondh.
Si O <sub>2</sub>	46,82	51,35	54,15	54,15	54,15	60,03	58,22	57,77	57,85	60,47	64,70	65,50	65,63	71,50
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17,37	19,10	19,29	18,98	18,98	18,02	19,11	17,75	17,35	17,66	16,75	17,00	15,59	14,00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,01	4,79	4,46	5,25	5,25	3,58	3,94	2,35	3,93	3,31	2,25	3,36	2,14	1,57
Fe O	5,43	2,89	2,68	1,88	1,88	1,51	1,81	4,10	1,25	1,89	1,40	0,72	1,81	1,47
Mg O	6,78	3,34	2,52	2,23	2,23	2,19	1,62	2,32	1,54	1,65	1,33	0,57	1,26	0,42
Ca O	9,92	8,31	7,95	6,68	6,68	6,33	7,16	6,25	5,91	7,23	4,52	5,42	4,86	3,67
Na <sub>2</sub> O	3,09	3,21	3,45	4,02	4,02	3,90	3,66	3,79	4,14	3,69	3,54	3,40	3,49	4,03
K <sub>2</sub> O	0,50	0,96	1,36	2,39	2,39	1,46	1,63	2,90	2,84	1,24	2,35	1,43	2,30	1,01
Ti O <sub>2</sub>	1,70	0,79	0,83	0,66	0,66	0,42	0,71	0,66	0,75	0,66	0,76	0,53	0,51	0,44
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,38	0,21	0,26	0,34	0,34	0,20	0,24	0,40	0,35	0,21	0,29	0,14	0,20	0,08
Mn O	0,29	0,12	0,10	0,06	0,06	0,09	0,08	0,10	0,04	0,08	0,08	0,04	0,08	0,04
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	1,25	1,95	1,24	1,72	1,72	2,20	1,11	1,00	1,33	1,07	1,75	1,63	1,00	0,87
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	0,26	3,32	1,14	1,45	1,45	0,34	0,81	0,54	0,86	0,74	0,26	0,97	0,55	-
total	98,80	100,34	99,43	99,81	99,81	100,26	100,10	100,02	100,06	99,90	100,17	100,71	99,42	99,09
	n = 14	n = 7	n = 27	n = 5	n = 5	n = 18	n = 15	n = 1	n = 2	n = 8	n = 7	n = 1	n = 8	n = 1

TABLEAU (5) COMPOSITIONS MOYENNES DES LAVES PALEOGENES PERI-ALPINES OCCIDENTALES (Provinces Méridionales)

# CARACTERISATION MAGMATIQUE ET PETROGENESE DES MANIFESTATIONS VOLCANIQUES ET PLUTONIQUES PALEOGENES DES ALPES OCCIDENTALES. SIGNIFICATION GEODYNAMIQUE.

Nous présenterons, séparément, les formations des Provinces Méridionales (Liguro-Provençale et Sub-Alpine Méridionale) et celles de la Province Helvético-Savoyarde. En ce qui concerne la Province du Champsaur, les fragments de lave de très petite taille et très altérés par le métamorphisme ne pourront faire l'objet d'aucune étude géochimique.

## A) LES PROVINCES MERIDIONALES.

### A 1) GEOCHIMIE DES ELEMENTS MAJEURS.

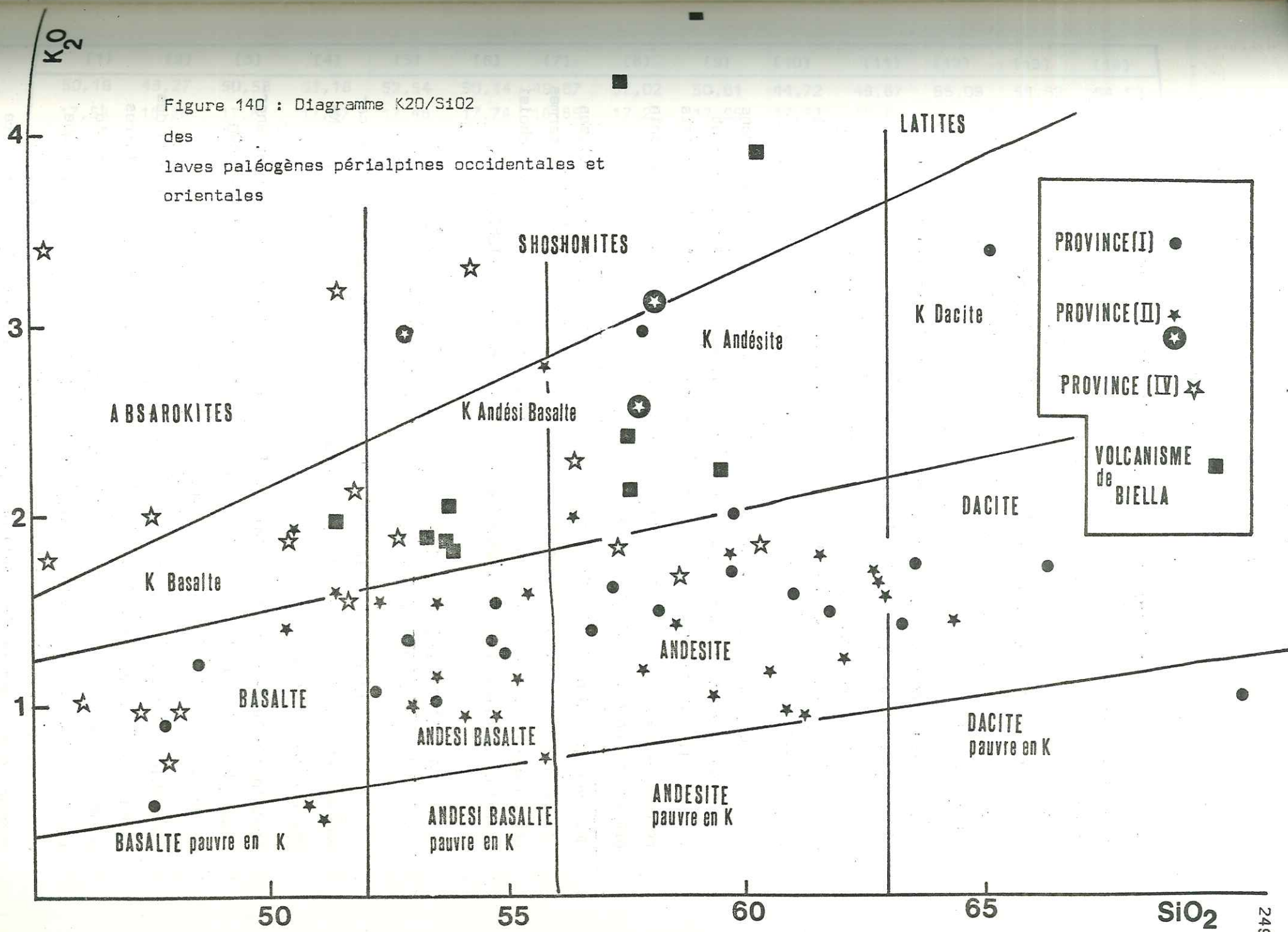
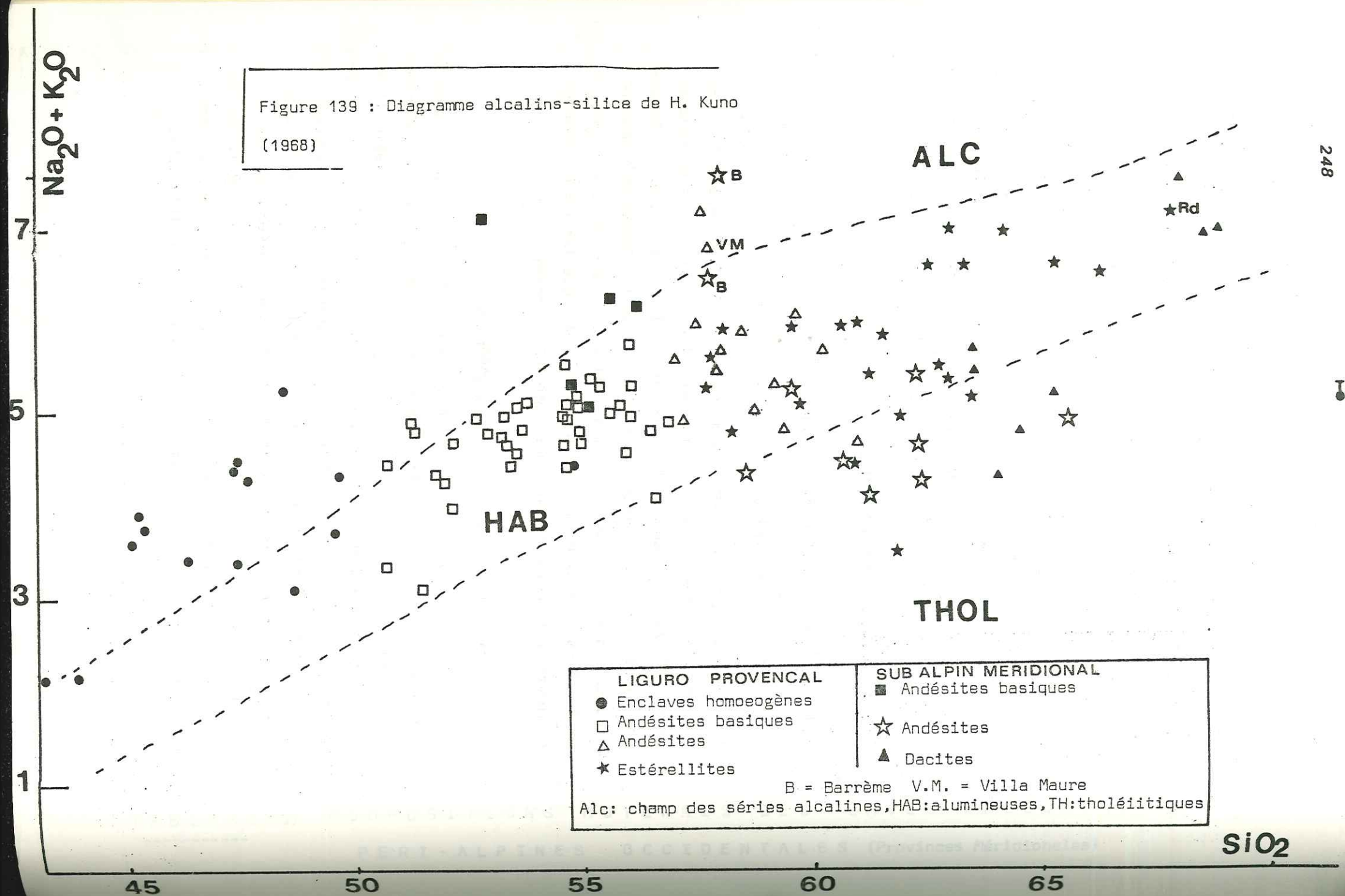
#### REMARQUE PRELIMINAIRE :

Les laves des provinces méridionales (en particulier celles du synclinal de Saint-Antonin) montrent des variations importantes du taux de silice (C. Alsac et coll. 1969 ; Le Guern, 1979). Elles sont très porphyriques et les paragenèses ne reflètent pas les variations géochimiques. Une grande quantité d'entre elles sont des cumulats de plagioclase. Nous ne retiendrons, dans cette étude, que les roches dont le chimisme et la composition minéralogique concordent.

#### A 1-1) Caractères géochimiques généraux.

Cent analyses nouvelles, s'ajoutant à seize analyses de la littérature, ont été réalisées. Les moyennes (Tableau 5) sont calculées en fonction des classes de teneur en SiO<sub>2</sub> de Peccerillo et Taylor (1976). Les provinces méridionales sont caractérisées par une nette prédominance des roches intermédiaires sur les produits peu ou très différenciés. 70% des roches de ces provinces sont caractérisées par des teneurs élevées en Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> est compris entre 14 et 19,7) en données moyennes et par de forts taux de calcium (CaO est compris entre 3,67 et 9,90). Les éléments alcalins Na<sub>2</sub>O et K<sub>2</sub>O ont des valeurs moyennes comprises entre celles des roches alcalines et tholéitiques (H. Kuno, 1968) (Fig.139).







Le report des points figuratifs des roches étudiées dans le diagramme alcalins-silice (H. Kuno, 1968) montre que la plupart des échantillons se distribuent dans les champs des roches calco-alcalines. Certaines enclaves homoéogènes gabbroïques se situent dans le champ des basaltes alcalins. Le taux de Sodium est élevé dans ces roches. Ces dernières occupent, dans le diagramme alcalins-silice, la position des basaltes décrits par C. Robin (1981) dans l'axe néovolcanique trans-mexicain.

Dans le diagramme  $K_2O - SiO_2$  (Fig. 140), en données Peccerillo et Taylor (1976) apparaissent nettement deux types de roches :

\* Un groupe présentant des caractères sérieux calco-alcalins faiblement à moyennement potassiques (andésite de la région niçoise, estérelites et andésites de Saint-Antonin).

\* Un groupe franchement potassique, à tendance shoshonitique, dans lequel se placent les andésites de type Villa Maure (C. Ghristi, 1982) et les andésites de Barrême. Les andésites que l'on trouve à l'état de galets remaniés dans les formations détritiques ante-volcaniques de Saint-Antonin présentent ce caractère très potassique.

Nous verrons, dans le chapitre consacré à la Pétrogenèse, que les analyses de verre à la microsonde électronique confirment cette association de termes peu potassiques et shoshonitiques. Nous avons, à titre de comparaison choisi de citer quelques analyses chimiques d'andésites modiales (Tableau 6).

#### A 1-2) Variation des éléments majeurs en fonction de la silice ou d'autres éléments.

L'ALUMINIUM, le CALCIUM et le SODIUM ont des taux élevés caractéristiques des séries calco-alcalines. Le taux d'éléments Al, Ca et Na décroît avec l'augmentation de  $SiO_2$ .

Certaines valeurs élevées de l'aluminium, du calcium et du sodium sont anormales. Les valeurs élevées de  $Al_2O_3$  sont corrélées positivement avec CaO et  $Na_2O$ , en particulier dans les cumulats plagioclasiques.

Le problème des cumulats plagioclasiques se pose dans toutes les séries des domaines orogéniques (C. Coulon, 1981) au niveau des termes intermédiaires porphyriques. Il est souvent difficile de reconnaître des cumulats plagioclasiques formés par concentration gravitative d'éléments légers. Lorsque le taux de plagioclase est important (le rapport Plagioclase-Somme des Phénocristaux peut excéder 80%) on peut observer, en général, une texture

TABLEAU 6

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
SiO <sub>2</sub>	50,19	48,27	50,58	51,16	52,54	50,14	49,67	52,02	50,61	44,72	49,67	55,09	58,62	64,52
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17,58	18,28	17,81	17,37	17,48	17,74	18,85	17,25	17,95	17,68	18,85	17,17	17,00	15,87
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,84	1,04	3,55	3,43	3,20	4,71	4,67	4,17	4,52	5,11	4,67	4,95	4,41	2,29
FeO	7,19	8,31	6,55	6,16	5,44	4,03	5,08	4,45	4,52	6,58	5,08	3,14	2,25	1,41
MnO	0,25	0,17	0,17	0,17	0,14	0,11	0,19	0,14	0,15	0,17	0,19	0,15	0,12	0,11
MgO	7,39	8,96	5,48	6,14	5,85	5,17	4,53	4,34	4,68	6,93	4,53	3,64	2,53	1,14
CaO	10,50	11,32	10,51	10,27	8,82	9,59	9,81	8,80	9,40	11,86	9,81	7,76	6,02	3,32
Na <sub>2</sub> O	2,75	2,80	2,62	2,63	3,20	2,24	2,62	2,69	2,52	2,17	2,62	2,74	3,15	3,93
K <sub>2</sub> O	0,40	0,14	0,48	0,84	1,04	0,73	1,09	2,90	1,57	0,69	1,09	2,12	2,75	3,43
TiO <sub>2</sub>	0,75	0,89	1,10	0,88	1,14	0,73	0,94	0,85	0,84	1,24	0,94	0,76	0,69	0,55
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,14	0,07	0,20	0,19	0,26	-	0,19	0,29	0,24	0,15	0,19	0,22	0,20	0,18
H <sub>2</sub> O(+)	-	0,15	0,38	0,55	0,56	2,36	0,85	0,67	1,29	1,74	0,85	0,95	0,99	1,81
H <sub>2</sub> O(-)	-	0,07	0,57	0,23	0,15	1,32	0,56	1,01	0,96	0,27	0,56	0,89	0,70	0,39

	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	(21)	(22)	(23)	(24)	(25)	(26)	(27)
SiO <sub>2</sub>	52,89	64,37	71,05	56,50	60,14	64,07	70,37	75,82	50,80	54,16	58,79	63,90	58,05
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17,61	15,94	14,67	17,53	16,60	16,11	15,06	12,90	14,47	15,07	15,77	15,80	17,54
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,19	3,47	2,37	4,23	3,69	2,85	1,89	0,57	3,16	5,28	5,09	3,34	2,96
FeO	3,90	1,07	0,25	3,15	2,25	1,44	0,37	0,05	4,80	3,23	1,04	1,06	3,24
MnO	0,16	0,09	0,04	0,11	0,09	0,07	0,04	0,11	0,13	0,13	0,11	0,04	0,12
MgO	4,69	1,31	0,29	3,59	2,84	1,75	0,32	0,06	8,02	4,93	2,66	1,41	4,37
CaO	8,62	4,50	2,39	6,75	5,31	3,86	1,76	0,29	7,31	6,43	4,75	2,75	5,82
Na <sub>2</sub> O	2,68	3,53	3,43	4,08	3,93	4,13	3,88	4,32	3,14	3,65	4,20	4,34	2,56
K <sub>2</sub> O	1,39	2,76	3,99	1,95	2,77	3,36	4,85	4,48	2,66	3,08	3,65	4,23	2,31
TiO <sub>2</sub>	0,69	0,40	0,25	1,01	0,82	0,62	0,31	0,03	1,42	1,99	1,22	1,02	0,65
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,23	0,21	0,11	0,35	0,31	0,28	0,16	-	0,68	0,82	0,58	0,47	0,41
H <sub>2</sub> O(+)	1,31	1,17	0,86	0,52	0,82	1,01	0,98	1,05	2,50	0,94	0,46	0,91	1,58
H <sub>2</sub> O(-)	0,53	0,55	0,14	0,10	0,17	0,12	0,12	0,09	0,40	0,32	0,52	0,32	-



	(28)	(29)	(30)	(31)	(32)	(33)
SiO <sub>2</sub>	50,59	54,54	59,05	59,64	58,52	66,80
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,29	16,26	17,07	17,38	16,20	18,24
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,66	2,31	3,90	2,54	2,93	1,25
FeO	5,08	5,40	2,57	2,72	3,28	1,02
MnO	0,17	0,12	0,15	0,09	0,09	0,06
MgO	8,96	6,97	3,25	3,95	4,14	1,50
CaO	9,50	7,50	7,09	5,92	5,59	3,17
Na <sub>2</sub> O	2,89	3,64	3,80	4,40	3,64	4,97
K <sub>2</sub> O	1,07	1,49	1,27	2,04	2,67	1,92
TiO <sub>2</sub>	1,05	1,13	0,69	0,76	0,76	0,23
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,21	0,23	0,20	0,28	0,25	0,09
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> tot	0,81	1,31	0,64	1,08	1,47	0,26

Légende du TABLEAU 6

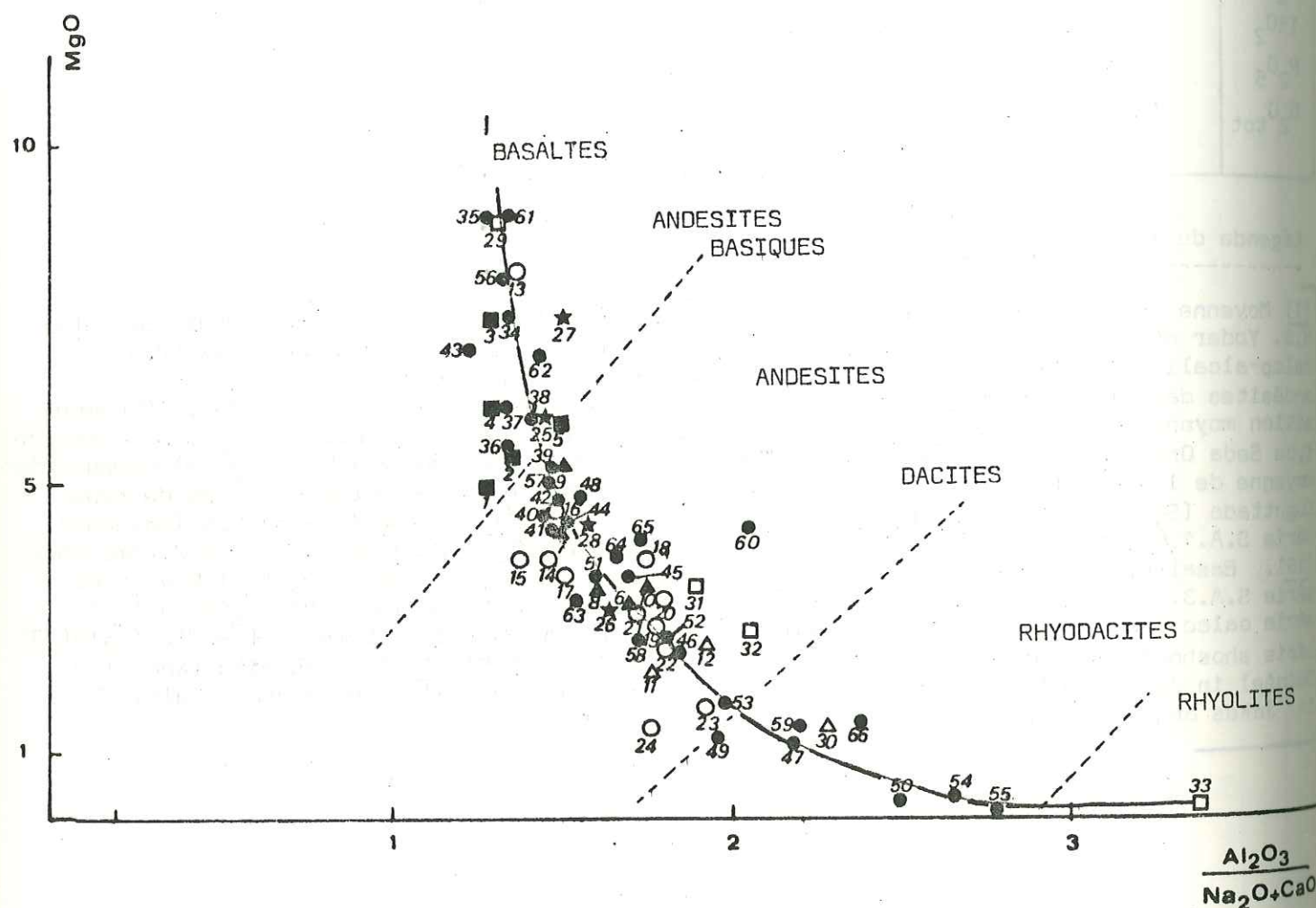
(1) Moyenne de High alumina basalts (H.Kuno 1960),/(2) High alumina basalt (Medicine Lake) H.S. Yoder et C.E. Tilley (1962),/(3) Composition moyenne des basaltes liés aux cortèges calco-alcalins (J.F. Lewis 1971),/(4) et (5) Composition moyenne des basaltes associés aux andésites dans les arcs insulaires (4) ou les marges actives (5) (A.Ewart 1976),/(6) composition moyenne des Basaltes de Sardaigne méridionale,/(7) Composition moyenne des basaltes de type Seda Oro,/(8) Composition moyenne des basaltes de l'Anglona (Sardaigne),/(9) composition moyenne de l'ensemble des basaltes sardes,/(10) composition moyenne des basaltes de type Cuguttada (Sardaigne) (5 à 10) analyses in C.Coulon 1977,/(11) Basalte Seda Oro (moyenne) Série S.A.1,/(12),/(13) Andésites Série S.A.2. (moyennes),/(14) Dacites série S.A.2. (moyenne (15), Basalte, série S.A.3 (moyenne),/(16), Dacite, série S.A.3. (moyenne),/(17) Rhyolite, série S.A.3. (moyenne) Analyses (11) à (17), Sardaigne in C. Coulon (1977),/(18) à (22) série calco - alcaline (basalte à rhyolite) du Sud Péruvien - In C.Lefèvre (1979),/(23) à (26) série shoshonitique du Pérou méridional - In C. Lefèvre (1979),/(27) Shoshonite (Nouvelle Guinée) in Jakes and White (1969),/(28) à (33) Série calco - alcaline d'arc insulaire in Jakes and White (1969).



Figure : 141

Diagramme  $\frac{Al_2O_3}{Na_2O + CaO}$  / MgO

des roches calco - alcalines mondiales  
(Les numéros renvoient à la légende)



caractéristique des cumulats (Wager & Brown, 1960). Il peut, cependant, se produire une déstabilisation du plagioclase entraînant des résorptions et des refusions. Ces phénomènes peuvent être observés au microscope. Une auréole réactionnelle entoure le plagioclase en voie de résorption. Lorsque ce dernier subit la résorption complète, toute trace de lui a évidemment disparu. Il est, dans ce cas, nécessaire de faire appel à l'analyse chimique.

L'évaluation du phénomène cumulatif, par ségrégation gravitative, est parfois délicate. En effet, il existe dans la nature des liquides à composition feldspathique qui, lorsqu'ils cristallisent, forment essentiellement des plagioclases (cf. chapitre Pétrogenèse). Dans ces roches, les minéraux ferromagnésiens sont pratiquement absents et les taux de  $Fe_{tot}$  et MgO sont très faibles. Il n'en est pas de même pour les cumulats plagioclasiques dont les minéraux ferromagnésiens sont représentés et dont les taux de  $Fe_{tot}$  et de MgO, bien qu'accusant une baisse sensible, sont encore élevés.

Nous proposons d'utiliser un diagramme qui prenne en compte l'évolution du rapport  $\frac{Al_2O_3}{Na_2O + CaO}$  en fonction de MgO.

La valeur de ce rapport, calculé dans des roches peu porphyriques et ayant valeur de liquides magmatiques solidifiés sans cumulation ni mélanges décroît lors de la différenciation (nous avons reporté sur ce diagramme (Fig.141) quelques séries calco-alcalines différenciées parfaitement connues du point de vue pétrographique et géochimique).

On remarque que les basaltes occupent la position haute dans le diagramme, contrairement aux rhyodacites et rhyolites.

Les séries différenciées se répartissent sur une courbe d'allure hyperbolique. Il est possible, en outre, de tracer les limites entre andésites, basaltes, dacites et rhyolites.

Lorsqu'on reporte sur ce diagramme ces roches cumulées, on voit qu'elles occupent un champ différent de celui que laissait pressentir leur analyse chimique.

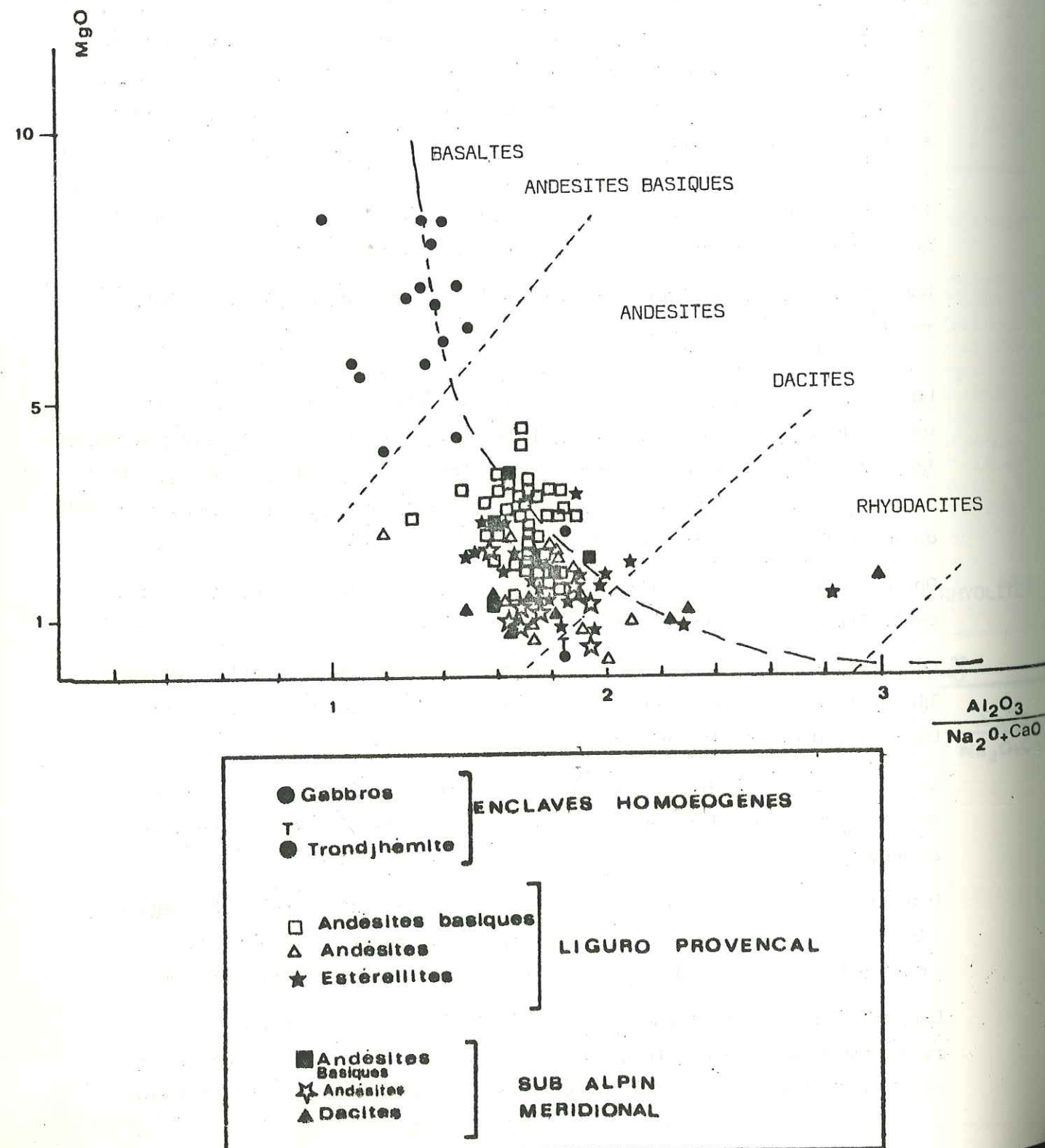
Nous avons pris l'exemple d'une lave de Biot qui est un cumulat plagioclasique. Son analyse est celle d'une roche de passage entre basalte et andésite basique ( $SiO_2 = 53$  ;  $Na_2O + K_2O = 4,75$  ; Analyse 28 cf. Annexes).

Dans le diagramme  $Al_2O_3 / (Na_2O + CaO) = f(MgO)$  elle se situe hors de l'aire représentative des basaltes, confirmant ainsi son caractère anomal. Sur ce même diagramme (Fig.143) un "basalte" du synclinal de Saint-Antonin



Figure: 142

Diagramme  $\frac{Al_2O_3}{Na_2O + CaO}$  / MgO pour les  
laves calco - alcalines paléogènes des  
Provinces Méridionales péri - alpines



(Analyse 2, in Le Guern (P.66)) montre aussi des caractères chimiques de cumulat plagioclasique et son point figuratif est à l'extérieur du champ des basaltes (Fig.142).

En revanche, les autres roches des provinces paléogènes péri-alpines méridionales se répartissent sur la courbe type. Les enclaves occupent le champ des basaltes et, au niveau des termes différenciés, la lignée se dédouble, d'un côté vers les enclaves trondjémittiques, de l'autre vers les rhyodacites à biotite.

Dans un tel diagramme, les roches faisant partie d'une série différenciée se répartissent sur la courbe type et les différents faciès pétrographiques de la suite s'inscrivent dans leur champ. Les roches anomales du point de vue cristallisation pourront, soit :

- \* se situer sur la courbe mais en dehors du champ représentatif de leur type pétrographique,
- \* se situer nettement en marge de la courbe et de la tendance d'évolution générale de la série.

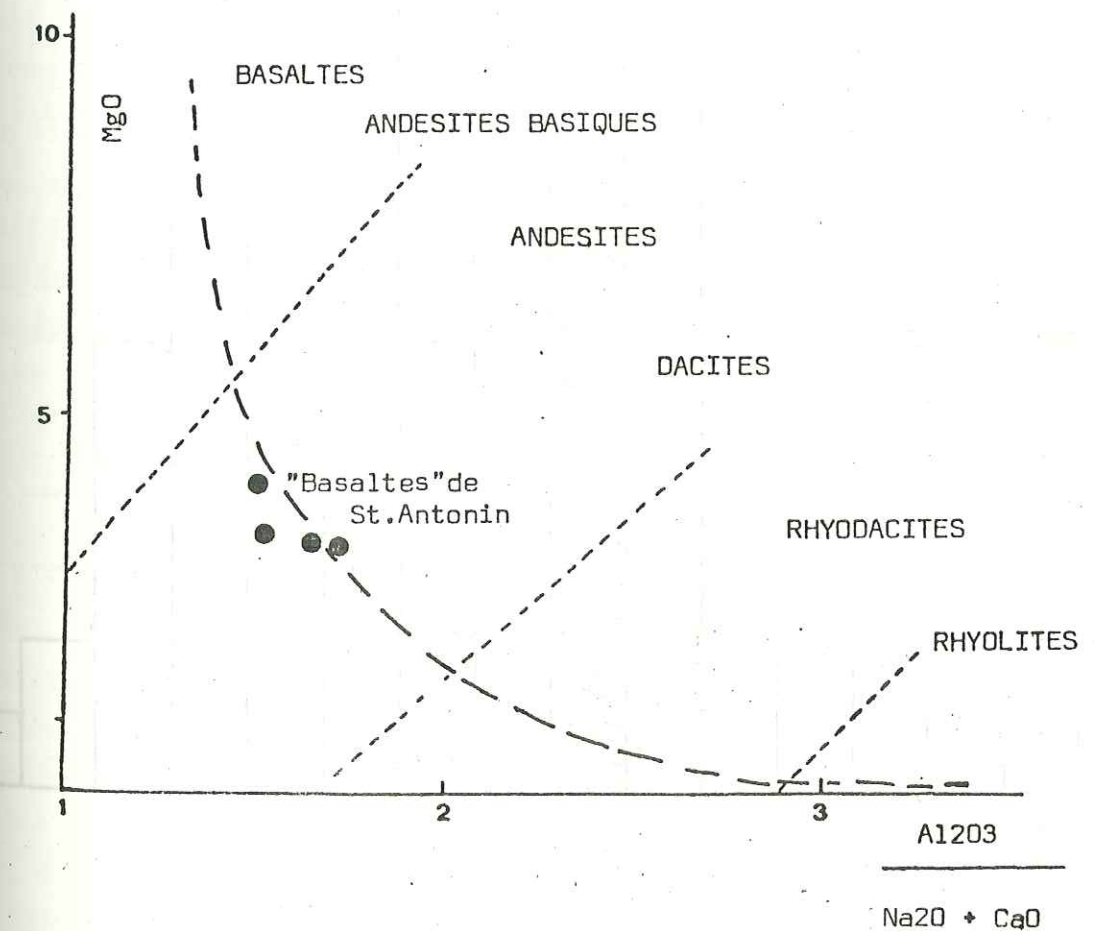


Figure 143 : Perturbation induite par le phénomène cumulatif dans des andésites sub-alpines et ligures.



Figure 144 : Histogramme de variation du rapport

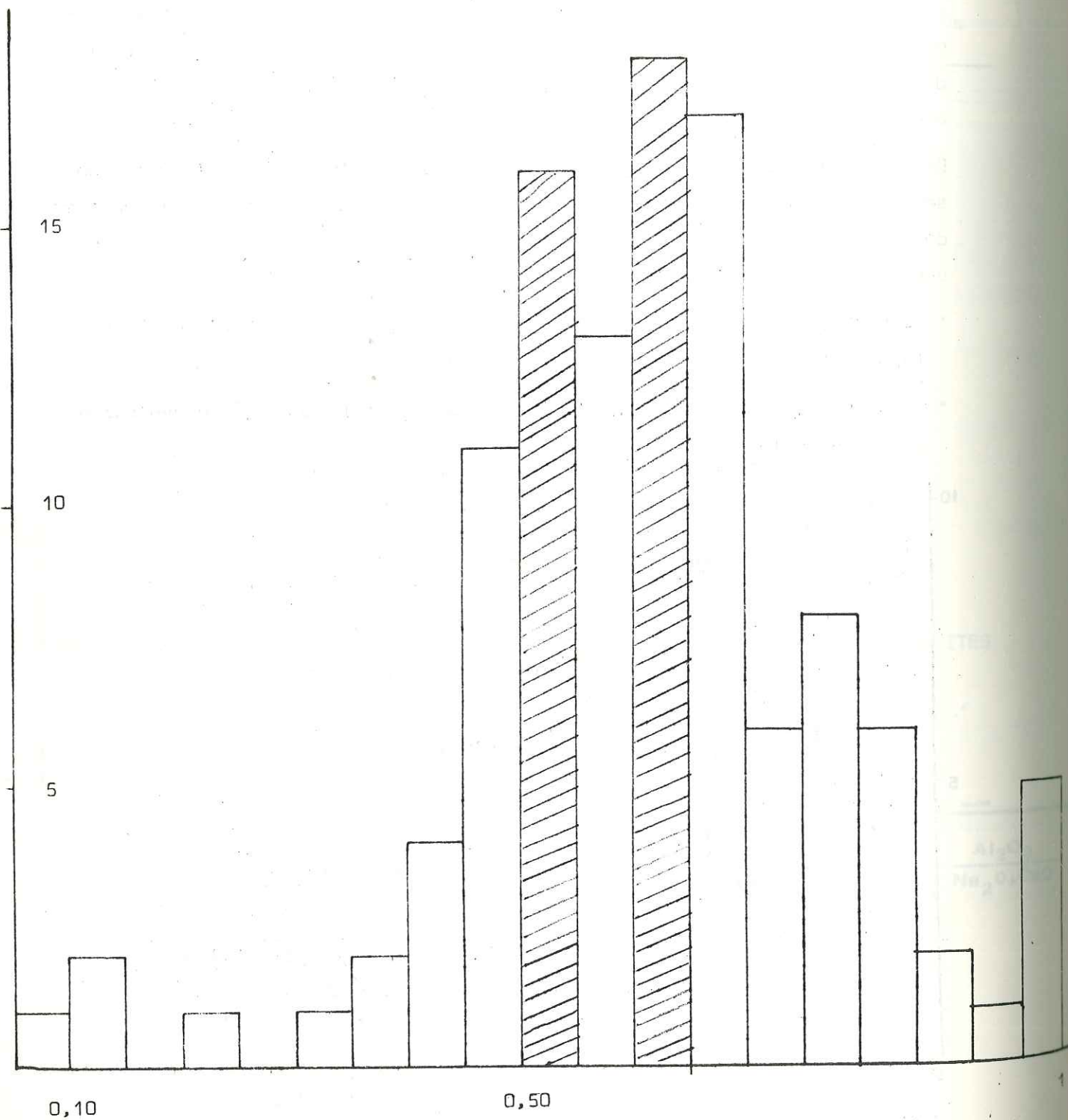
 $\text{Fe}_{2\text{O}_3} / \text{Fe}_{2\text{O}_3} + \text{FeO}$ 

Figure : 145

Diagramme  $\frac{\text{Fe}_{\text{total}}}{\text{MgO}} / \text{Fe}_{\text{Tot.}}$

des roches calco-alcalines des provinces paléogènes  
méridionales des Alpes occidentales

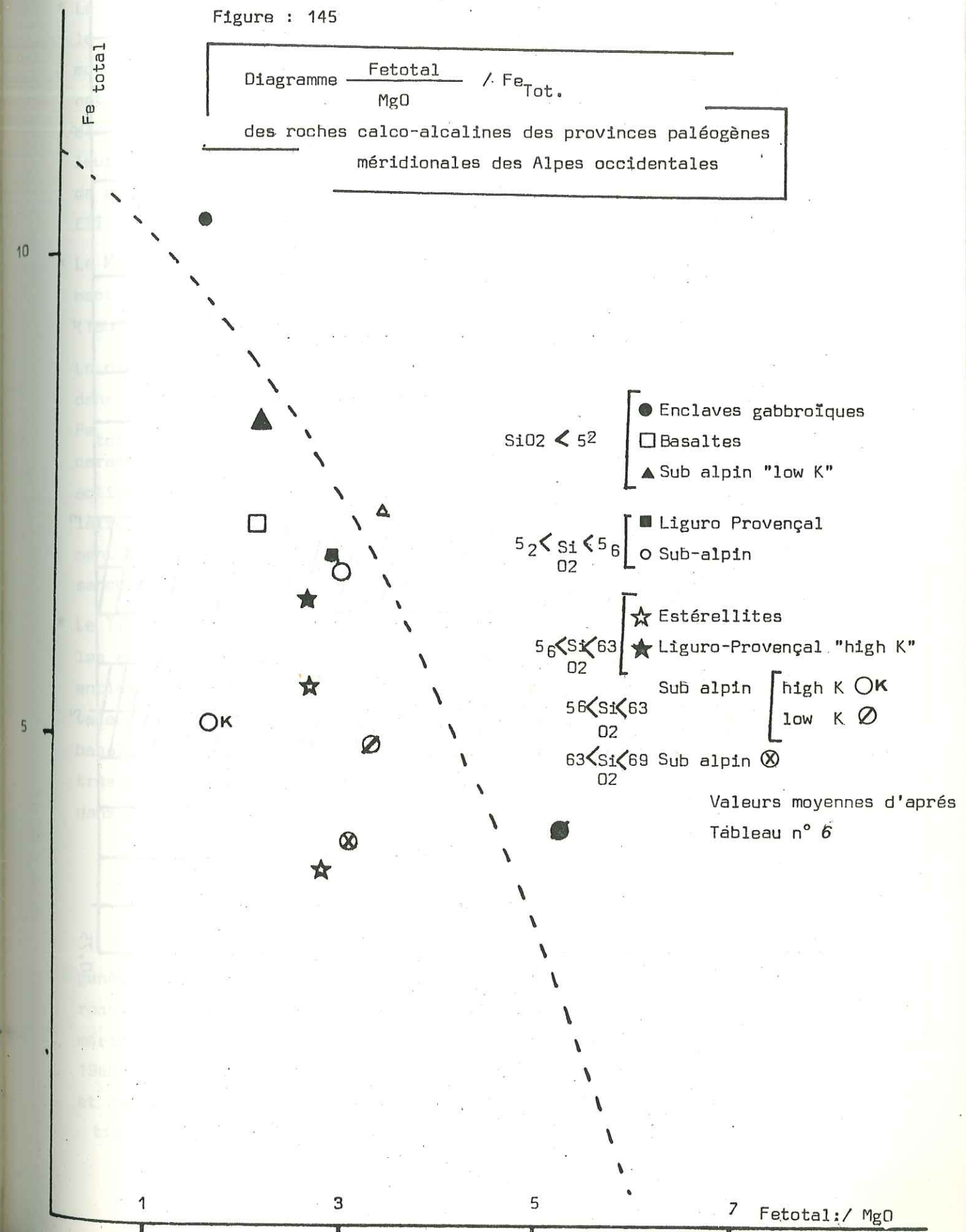
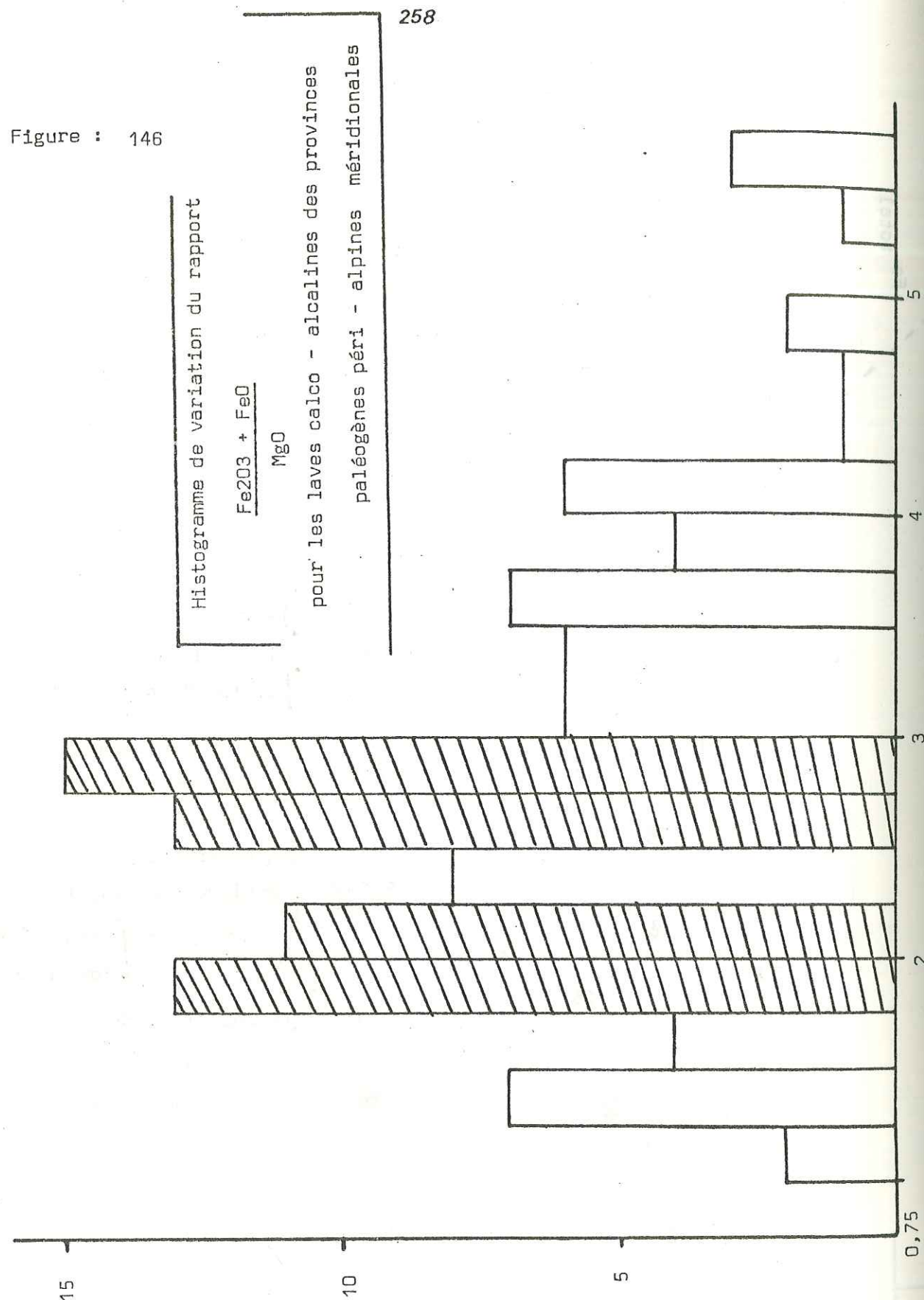




Figure : 146



\* Le Fer : son taux est donné sous deux formes le Fer trivalent ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) et le Fer divalent ( $\text{FeO}$ ). Le Fer trivalent est abondant. Le rapport  $\frac{\text{Fe}_2\text{O}_3}{\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}}$  montre des valeurs élevées. Plus de 60% des roches envisagées ont des rapports compris entre 0,45 et 0,70 (calculé d'après les pourcentages d'oxydes) et entre 0,30 et 0,48 en expressions molaires (Fig.144). Ces valeurs, fortes pour des andésites (Carmichael et Nicholls, 1967) sont proches de celles obtenues par C. Lefèvre (1979) pour les andésites du sud péruvien. Elles impliquent des fugacités d'oxygène élevées lors de la cristallisation.

\* Le Magnésium : les teneurs en magnésium (hormis les cumulats) sont légèrement plus faibles que celles que l'on observe dans les andésites modiales (Tableau 6).

Le diagramme  $\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$  en fonction de  $\text{FeO}/\text{MgO}$  place les roches étudiées dans le champ des suites calco-alcalines (Fig.145). Les valeurs du rapport  $\text{Fe}_{\text{total}}/\text{MgO}$  sont supérieures à 2, avec un maximum entre 2,75 et 3 (Fig.146), caractérisant ainsi des laves émises dans des contextes orogéniques de marges actives continentales (Jakes & White, 1972). Dans les andésites d'arc insulaire (Myashiro, 1974 ; C. Lefèvre, 1979) ce rapport n'est pas systématiquement inférieur à 2. Il ne semble donc pas être un bon critère de reconnaissance entre andésites de marge continentale et andésites d'arc insulaire.

\* Le Titane : montre des teneurs comparables à celles que l'on connaît dans les andésites modiales. Les valeurs les plus élevées s'observent dans les enclaves grenues homoéogènes basiques prélevées dans les estéréllites. Ces valeurs de  $\text{TiO}_2$  s'apparentent à celles que C. Robin (1981) donne pour les basaltes alumineux de l'axe néovolcanique trans-mexicain. (Certaines valeurs très élevées pouvant atteindre 4% sont dues à l'accumulation de l'amphibole dans certains gabbros).

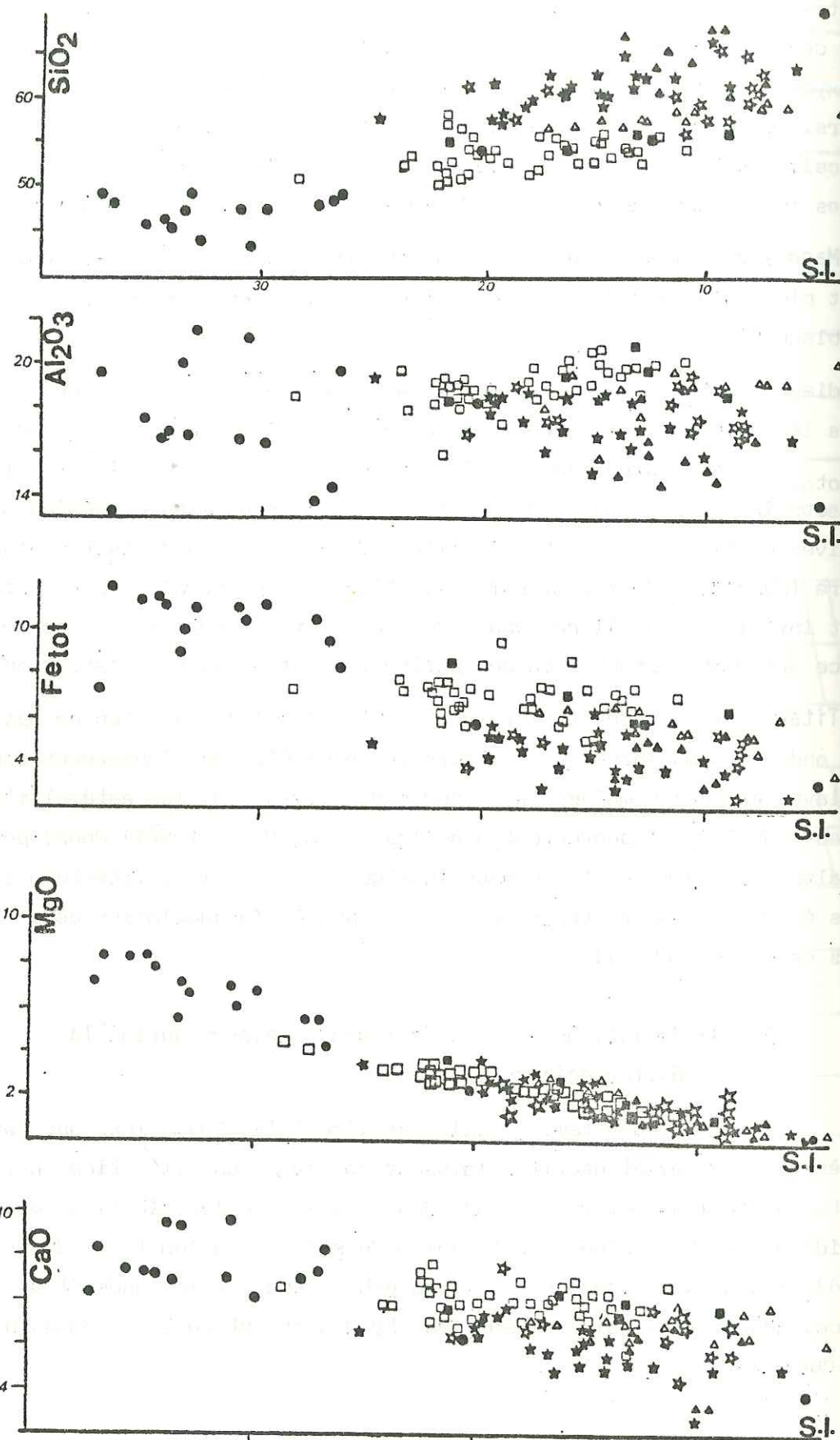
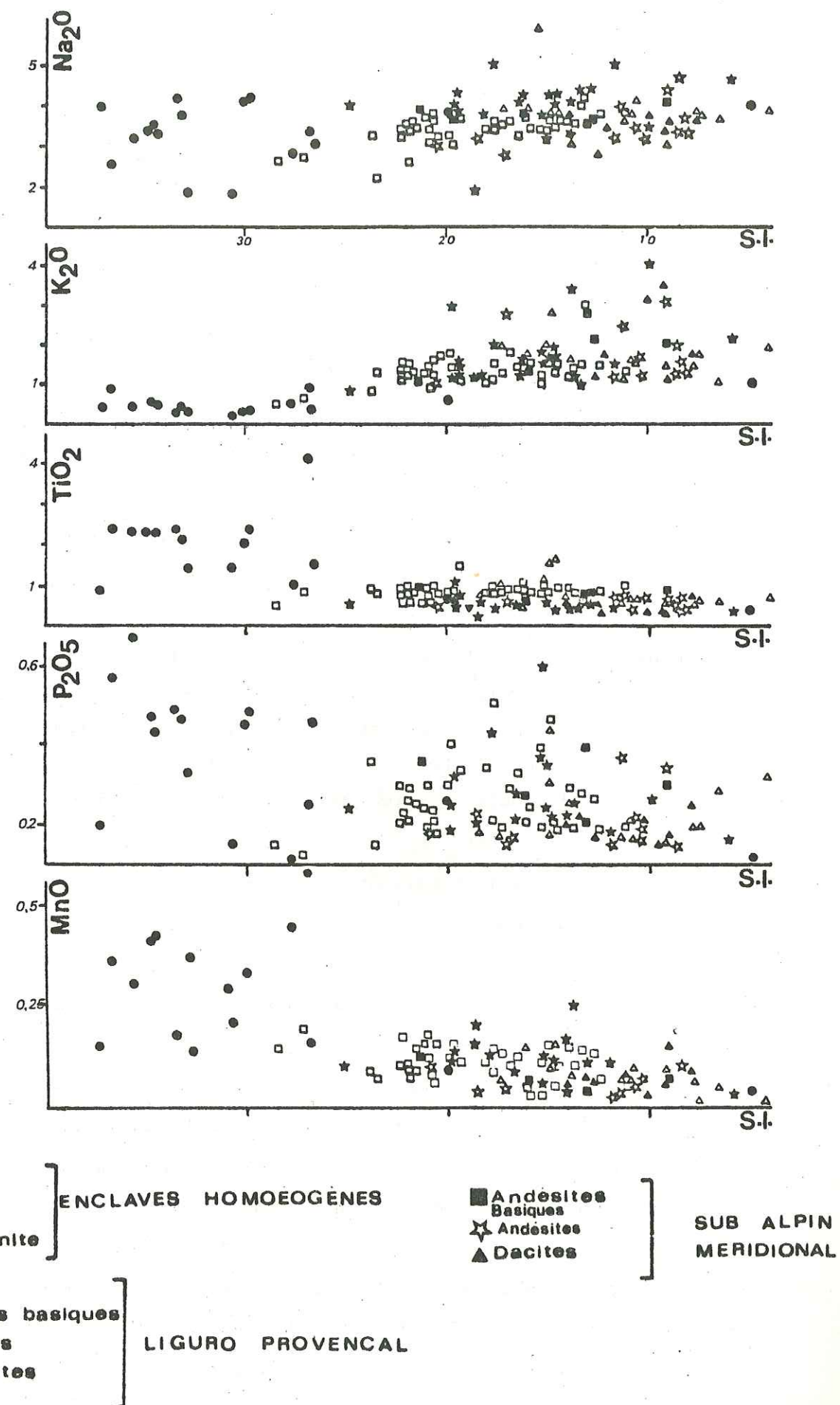
#### A 1-3) Variations du taux d'éléments majeurs durant la différenciation.

Le diagramme alcalins-silice (Fig.139), ainsi que les paragenèses précédemment décrites laissent entrevoir une filiation entre les roches plutoniques et volcaniques des provinces calco-alcalines paléogènes méridionales. Les valeurs de l'Indice de solidification (S.I. de H. Kuno, 1968) sont élevées dans les enclaves gabbroïques et les andésites basiques et deviennent très faibles dans les rhyodacites et enclaves trondjémiques.



Diagramme S.I. (H.Kuno 1968) fonction des oxydes pour les manifestations volcaniques et plutoniques paléogènes des provinces méridionales

Figure 147

Figure 147  
(suite)



1-3-1) Le diagramme S.I. fonction des oxydes (H. Kuno, 1968)  
(Fig.147).

- \* La silice : son taux augmente de façon régulière avec la diminution de l'indice de solidification. Ceci confirme l'existence d'un processus de différenciation. Les points représentatifs des estéréllites se situent dans la partie haute du diagramme. Les enclaves homoéogènes gabbroïques et dioritiques se situent dans la partie basse du diagramme, en position de termes très peu différenciés.
- \* Le magnésium décroît parallèlement à l'indice de solidification. Les termes les moins différenciés montrent de fortes teneurs en MgO.
- \* Le fer : son taux décroît régulièrement depuis les termes peu différenciés (enclaves) jusqu'aux valeurs faibles du S.I. (rhyodacites et trondjhémities).
- \* Le calcium suit une évolution sensiblement parallèle au magnésium. Les estéréllites se situent dans la partie haute du diagramme. Les roches intermédiaires (andésites basiques et andésites) montrent, parfois, une tendance à la cumulation de plagioclase et leur point représentatif dévie vers le haut du diagramme.
- \* L'aluminium semble évoluer suivant deux directions lors de la différenciation :
  - une tendance évolutive représentée par les enclaves gabbroïques, les andésites et, enfin, les rhyodacites à biotite,
  - une lignée de même origine mais évoluant, celle-ci vers des roches holoplagioclasiques (trondjhémities).
 Dans la première lignée, le taux d'aluminium reste pratiquement constant. Il tend à diminuer dans la seconde.
- \* Les alcalins : le sodium montre une répartition assez aléatoire. Le potassium, au contraire, a tendance à augmenter régulièrement lors de la différenciation. On retrouve, pour cet

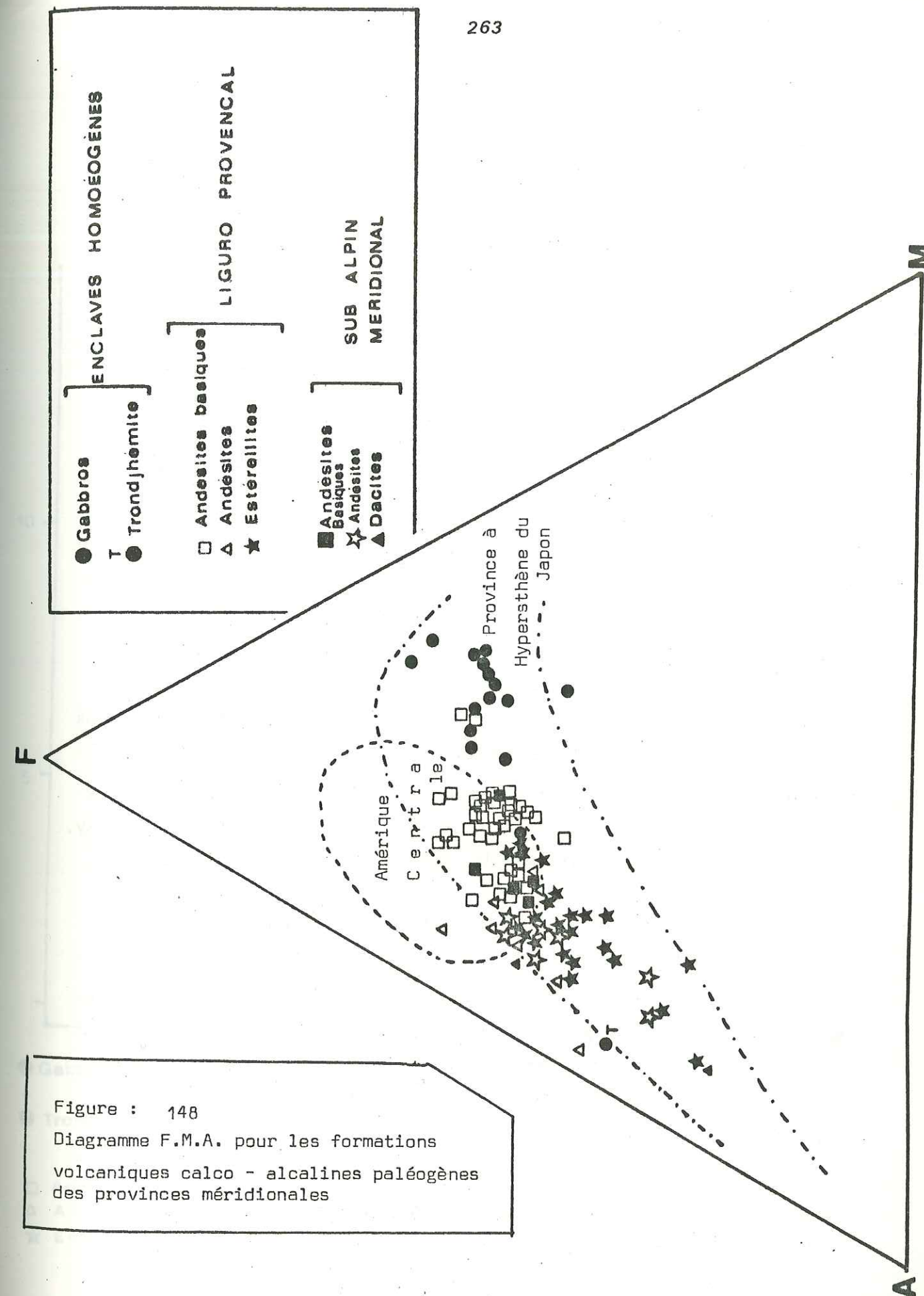


Figure : 148  
Diagramme F.M.A. pour les formations  
volcaniques calco - alcalines paléogènes  
des provinces méridionales



élément, la bimodalité du magmatisme. Les termes riches en K et shoshonitiques occupent la partie haute de la courbe de différenciation.

- \* Le titane décroît durant la différenciation.
- \* Le manganèse suit une évolution comparable à celle du fer et du titane.
- \* Le phosphore : se répartit de manière anarchique. Les valeurs les plus élevées se rencontrent dans les enclaves gabbroïques.

1-3-2) Le diagramme F.M.A. (Yoder & Tilley, 1962 (Fig.148)).

Il confirme la filiation qui existe entre les différentes roches étudiées.

Les enclaves gabbroïques et dioritiques occupent la partie du diagramme qui correspond aux termes peu différenciés.

On note un fort regroupement des roches intermédiaires (andésites basiques et andésites). L'enrichissement en Fer y est faible. La répartition des points représentatifs est conforme à ce que l'on connaît dans les séries calco-alcalines mondiales.

Les laves étudiées suivent une tendance évolutive qui les apparente aux lignées calco-alcalines quaternaires d'Amérique Centrale (A.R. Mc Birney, 1969) et tertiaires de Sardaigne (C. Coulon, 1977).

1-3-3) Le diagramme  $MgO - FeO + Fe_2O_3$  (G.A. Joplin, 1968) (Fig.149).

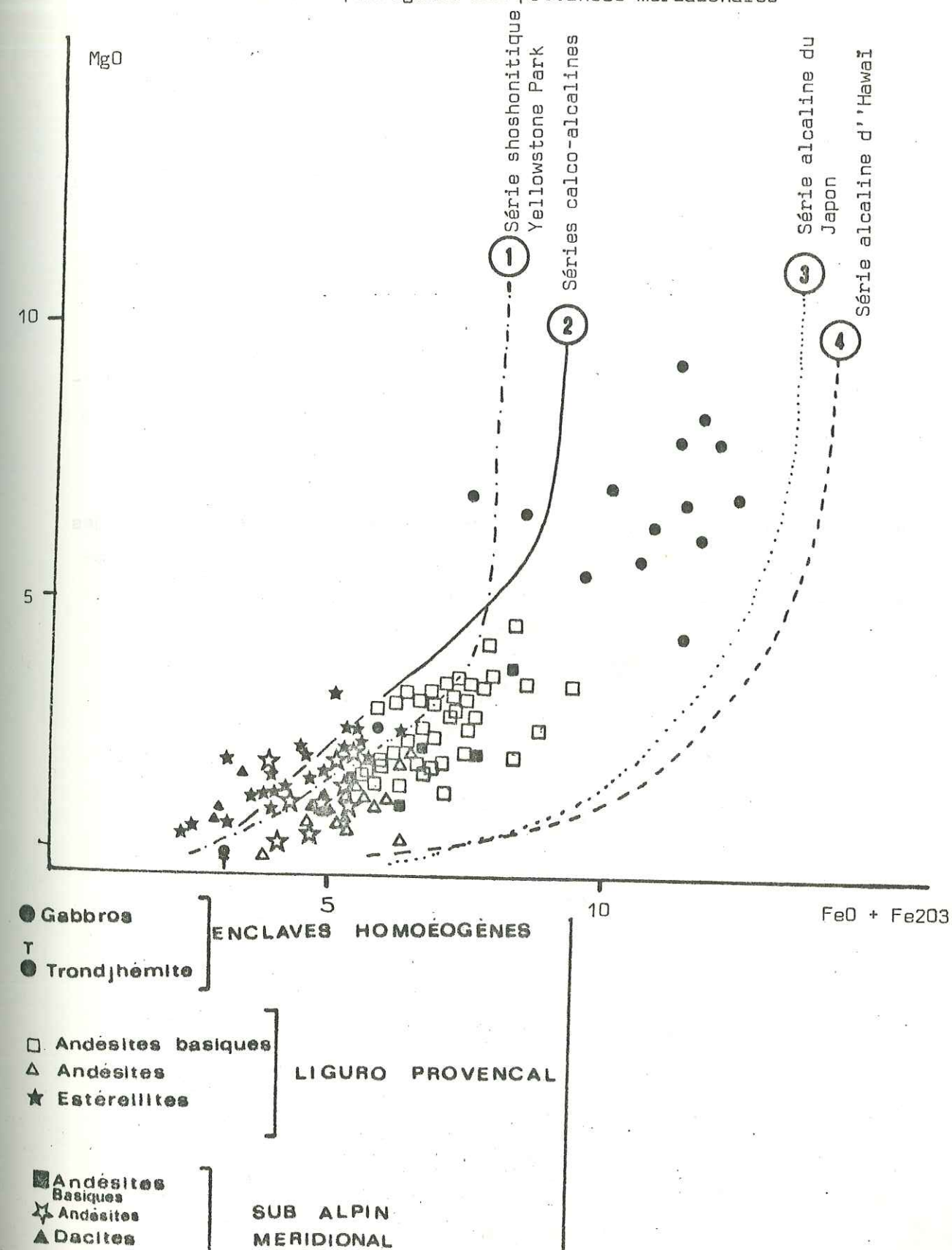
Durant la différenciation, le magnésium décroît corrélativement au Fer. On remarque, au niveau des termes peu différenciés, un certain désordre dans la distribution des points représentatifs. Un regroupement se produit au niveau des termes différenciés.

Sur ce diagramme ont été reportées les courbes  $Fer_{tot} / MgO$  de quelques séries type.

La lignée que nous avons étudiée s'inscrit dans la tendance évolutive générale.

Figure : 149

Diagramme de G.A. Joplin (1968) pour les formations volcaniques calco - alcalines paléogènes des provinces méridionales





#### A 1-4) Problème de la zonation spatiale des caractères géochimiques dominants.

L'existence de termes moyennement riches en potassium associés à des termes riches en potassium (tendances shoshonitiques) pose le problème de la bimodalité du magmatisme.

Nous avons cherché à savoir s'il existait ou non une zonation du magmatisme vis-à-vis de la chaîne alpine.

La carte de la Figure 150 montre la distribution des valeurs de l'indice  $\theta$  de Sugimura (1968) en fonction de la position géographique des manifestations volcaniques.

Il n'existe pas de corrélation entre l'alcalinité et la situation géographique par rapport à la chaîne.

Le Tableau 7 montre les valeurs de l'indice  $\theta$  de Sugimura pour les différents districts des provinces méridionales. Ces valeurs de l'indice  $\theta$  varient de 46 à 40 et elles ont été calculées pour des valeurs de  $\text{SiO}_2$  comprises entre 50,70 et 59,60. L'alcalinité étant fonction de l'état de différenciation du magma on a intérêt à calculer l'indice  $\theta$  dans des roches peu différenciées lorsque l'on veut utiliser cet indice pour reconstituer d'éventuelles zonations spatiales par rapport à la chaîne.

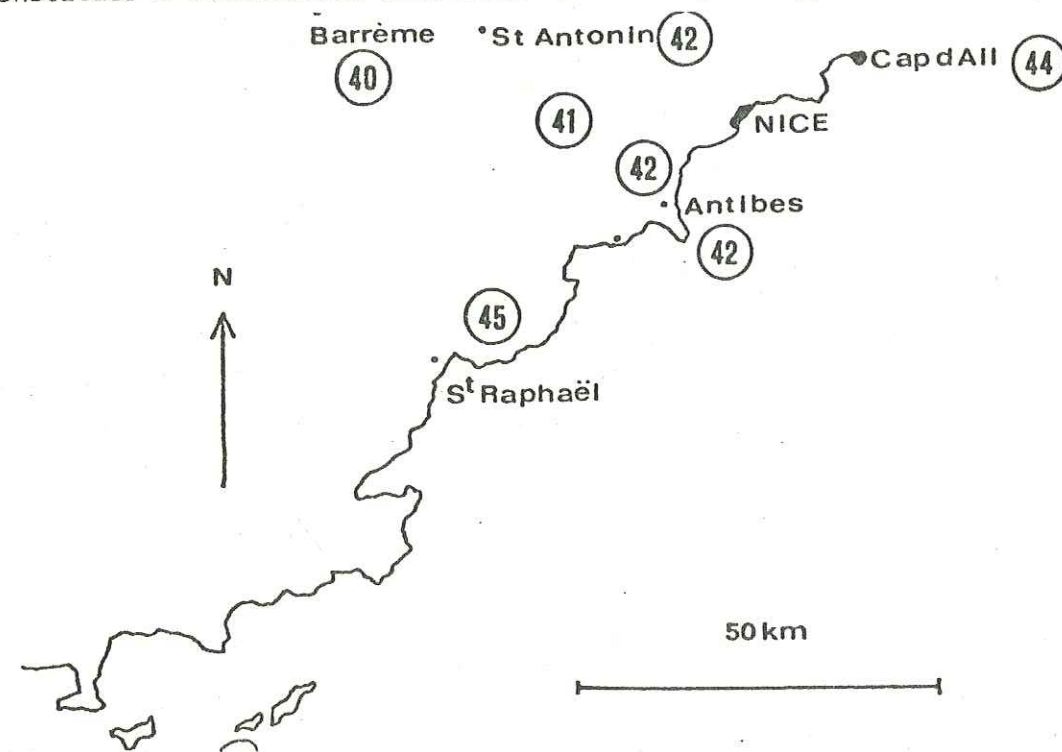


Figure 150 : Carte des valeurs de l'indice  $\theta$  de Sugimura dans le cas des laves andésitiques des provinces paléogènes méridionales.

	Cap d'Ail	Région de NICE	Villa Maure	Barrême	Saint Antonin	Estérel
$\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$	5,48	3,33	5,12	7,15	5,10	5,22
$\text{Al}_2\text{O}_3$	18,80	18,20	18,40	18,80	18,75	18,43
$\text{SiO}_2$	57,80	51,00	53,70	52,90	54,80	57,63
$\theta$ Sugimura	44,17	42,41	41,00	40,00	43,00	44,30
Variation de $\text{K}_2\text{O}$	1,11 à 1,69	0,66	1,83	2,95	1,30	1,30
$\text{SiO}_2$ (variation)	57,80	50,70 — 57,00	53,70 — 57,77	53,00 — 58,00	54,80	57,63 — 59,60

Tableau 7 Valeurs de l'indice  $\theta$  de Sugimura confrontées au taux de Potassium et à la silice dans les roches volcaniques des provinces paléogènes méridionales des Alpes occidentales.

(+) termes appartenant à la série "high K"



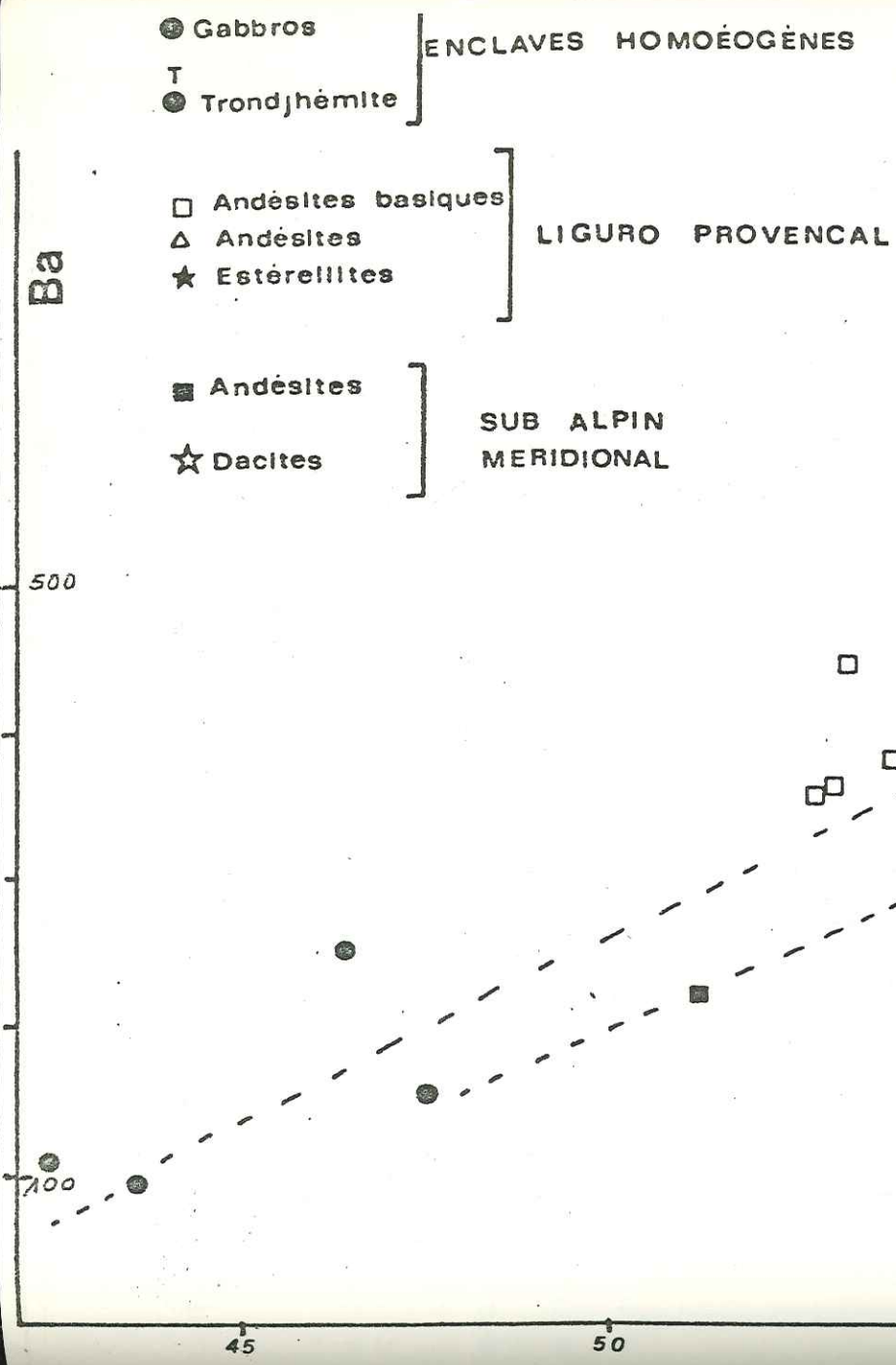


Figure : 151 Ba / SiO<sub>2</sub> pour les roches calco - alcalines des provinces paléogènes méridionales.

268

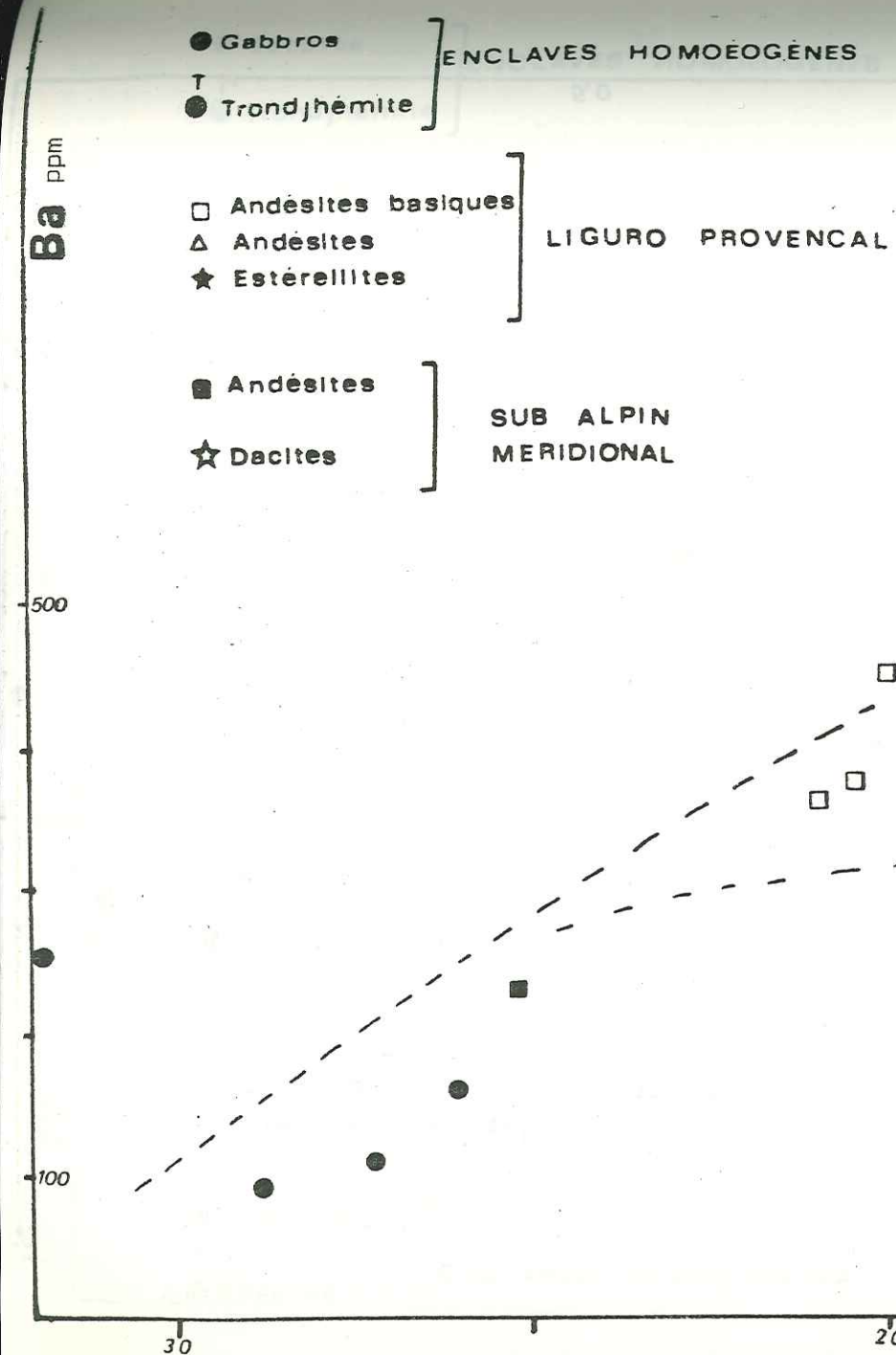


Figure : 152  
Diagramme Ba / Solidification Index pour les laves calco - alcalines des provinces paléogènes méridionales.

269



15

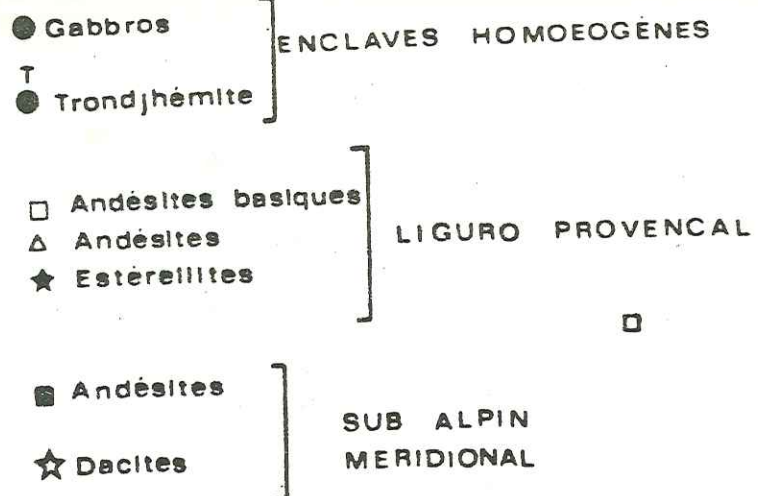


Figure: 153

Diagramme Sr / SiO<sub>2</sub> pour les roches calco - alcalines  
des provinces paléogènes méridionales.

500

300

270

70  
SiO<sub>2</sub>

5,0

6,0

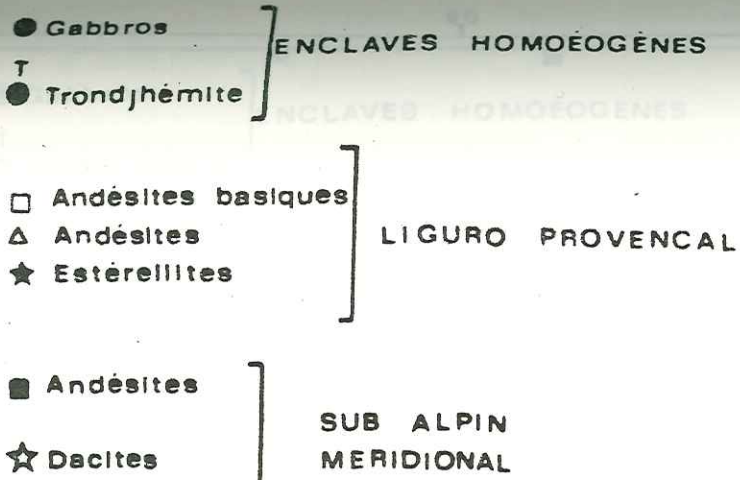


Figure : 154

Diagramme

Sr / Solidification index pour les roches calco - alcalines  
des provinces paléogènes méridionales.

Sr

500

100

271

S.I.

30

20

10



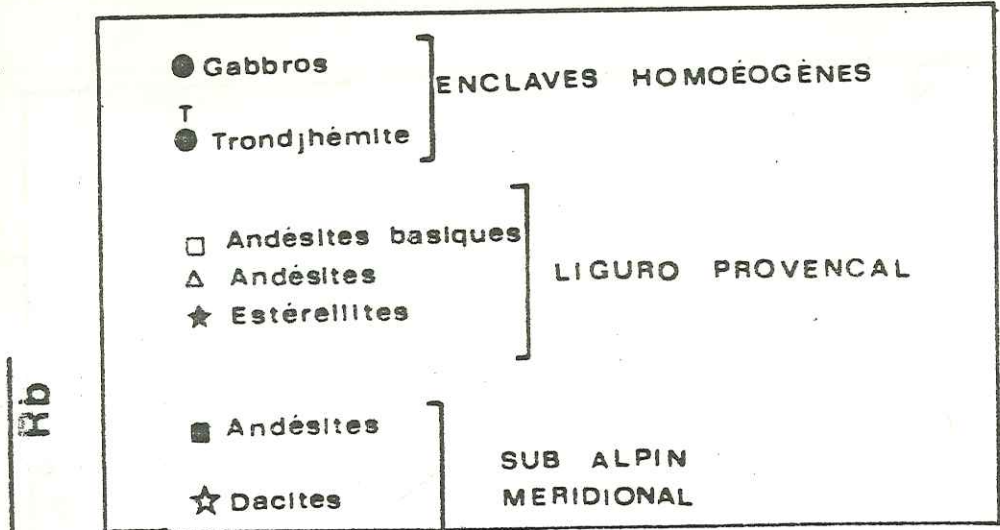
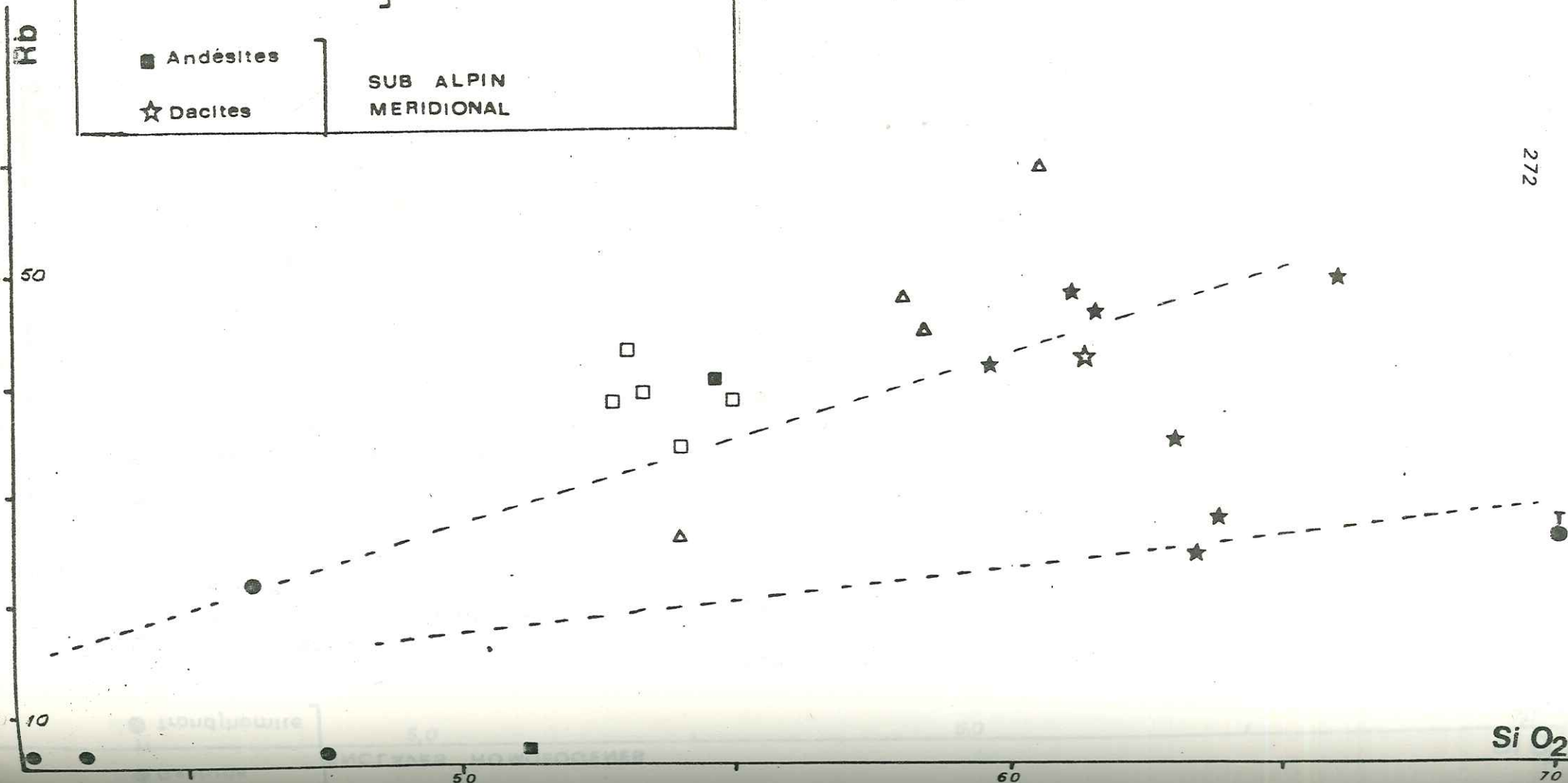


Figure : 155

Diagramme Rb / SiO<sub>2</sub> pour les roches calco - alcalines des provinces paléogènes méridionales.



272

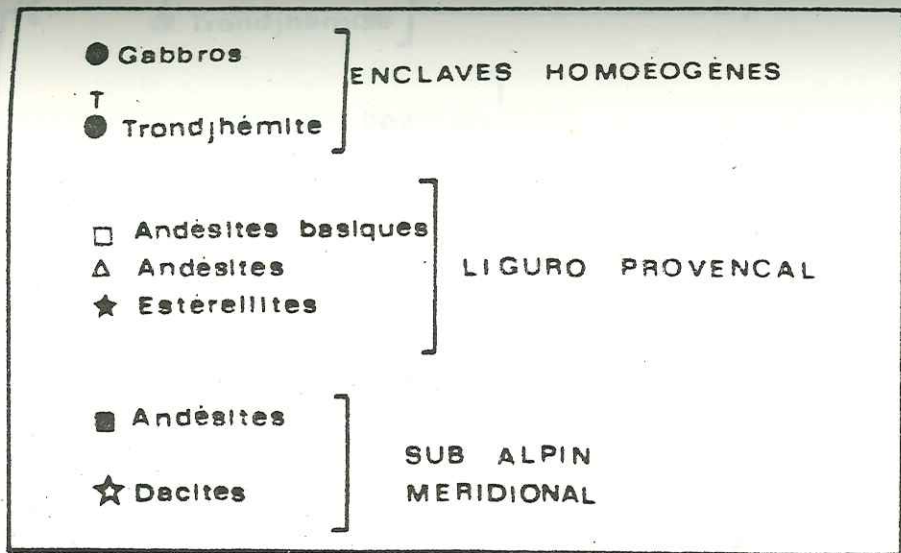
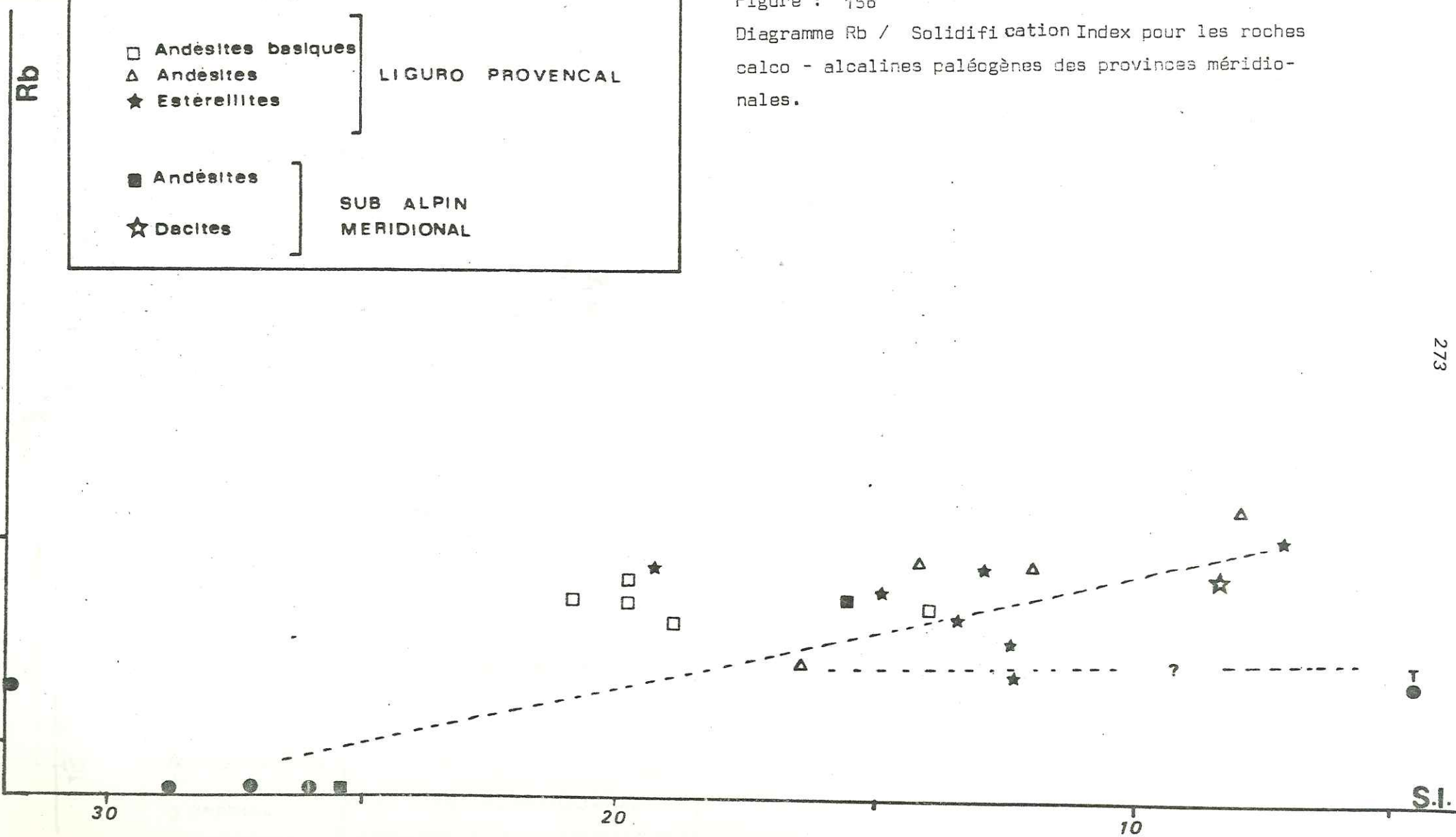


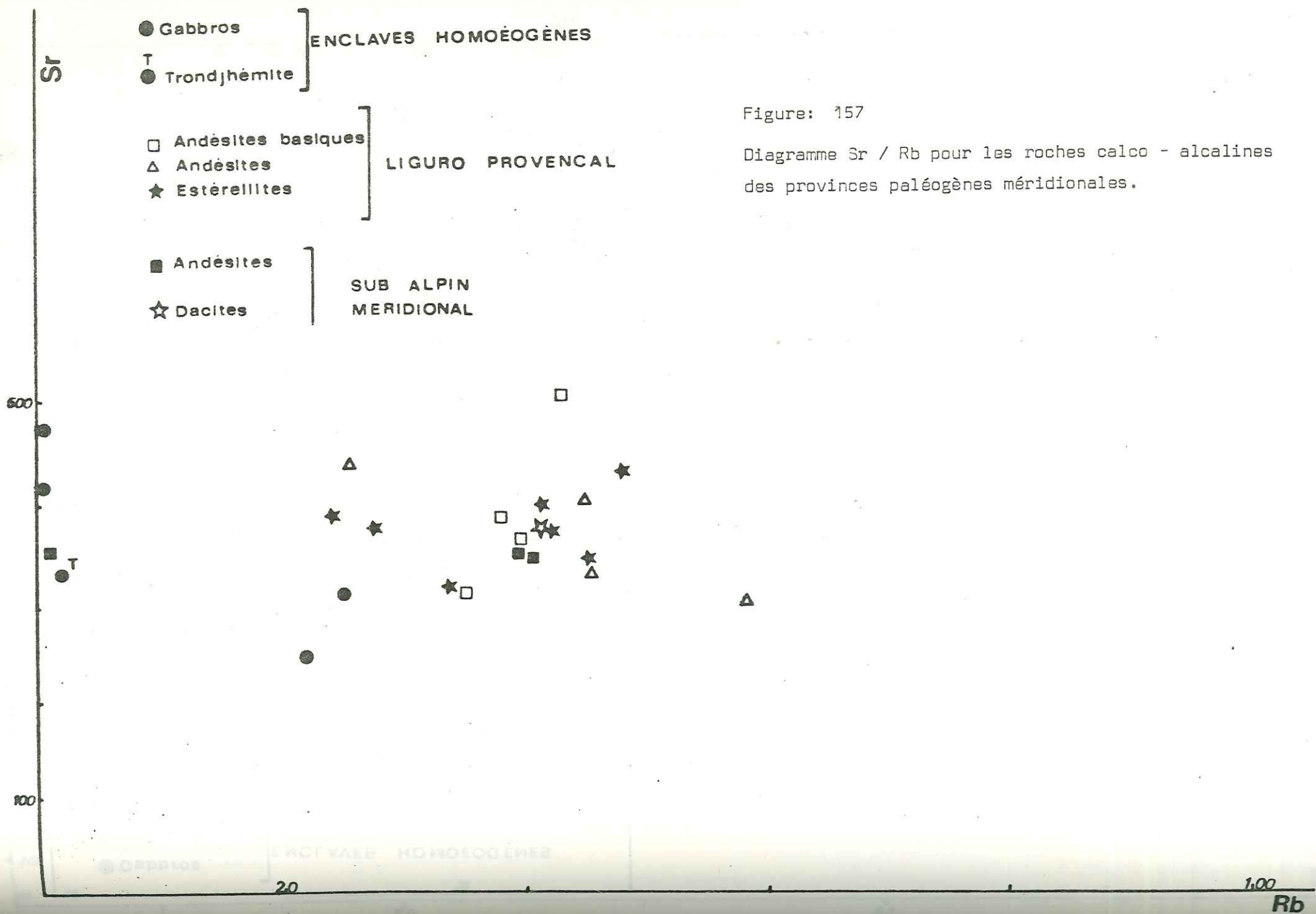
Figure : 156

Diagramme Rb / Solidification Index pour les roches calco - alcalines paléogènes des provinces méridionales.

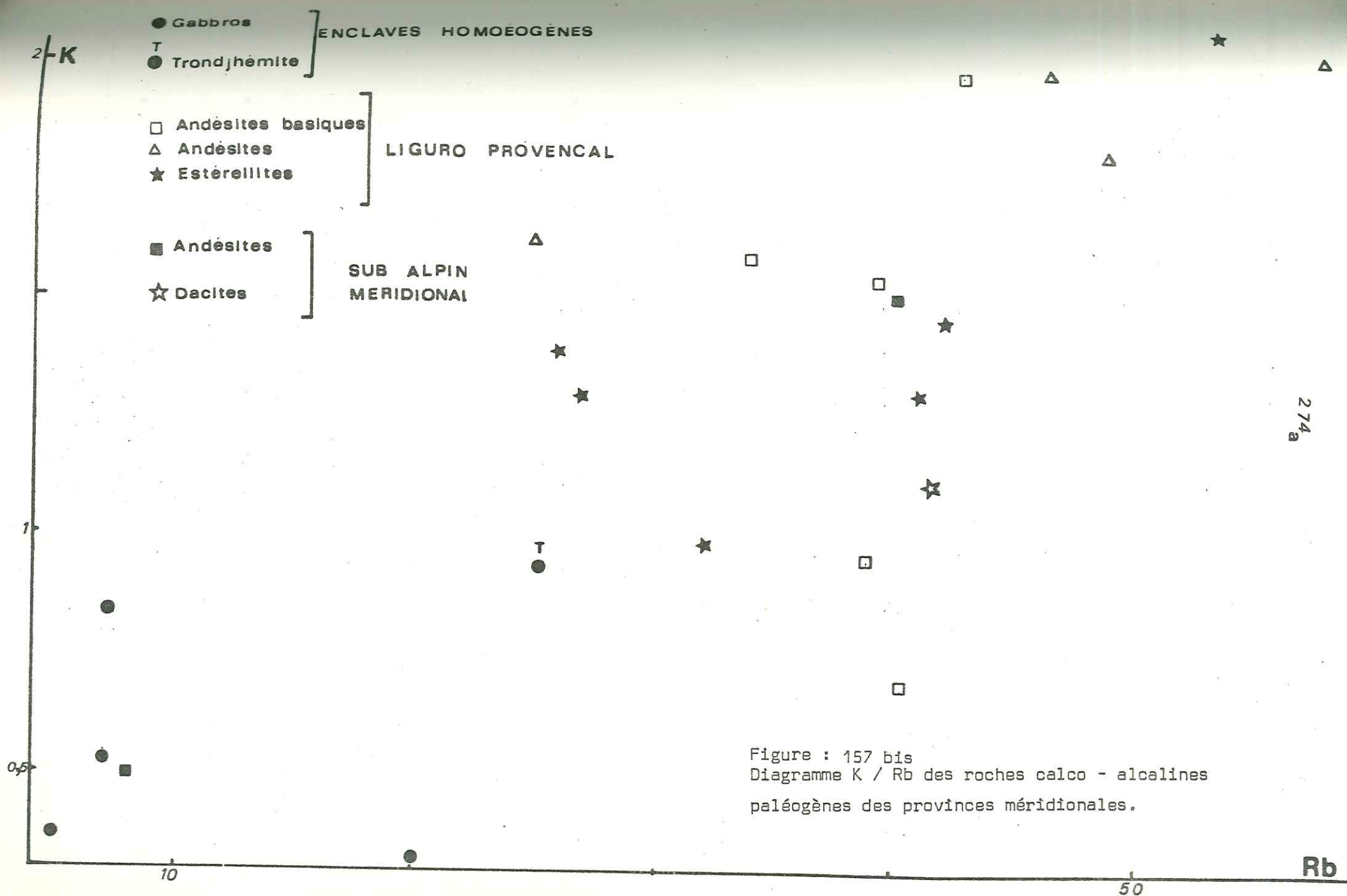


273





274



274a



On ne peut, dans l'état actuel des recherches, que remarquer :

- \* que les andésites et andésites basiques se trouvent à proximité de la chaîne,
- \* que les termes plus différenciés (dacites et rhyodacites) se trouvent en position externe (massif de l'Estérel),
- \* que la zone où sont associées les roches moyennement potassiques et les roches à tendance shoshonitique semble située en position intermédiaire par rapport aux deux précédentes (Fig.150).

On peut, enfin, remarquer que les roches riches en potassium sont antérieures aux manifestations moyennement potassiques dans la province sub-alpine méridionale, comme en atteste l'observation de terrain.

Il est difficile, dans le cas de la Villa Maure, de préciser les rapports entre termes peu potassiques et shoshonites associés dans le lahar.

## A 2) GEOCHIMIE DES ELEMENTS EN TRACES.

### A 2-1) Les alcalins et les alcalino-terreux (Tableau 8).

Les variations du sodium et du potassium ont été étudiées avec les éléments majeurs.

- \* Le baryum : son taux augmente avec la différenciation :  $92\text{ppm} < \text{Ba} < 260\text{ppm}$  dans les enclaves basiques,  $225 < \text{Ba} < 460\text{ppm}$  dans les andésites basiques et andésites,  $350 < \text{Ba} < 450\text{ppm}$  dans les estérellites. Dans les rhyodacites, le taux de baryum dépasse 580ppm. Dans le diagramme  $\text{Ba} = f(\text{SiO}_2)$  (Fig.151) et dans le diagramme  $\text{Ba} = f(\text{Si})$  (indice de solidification, Fig.152) on peut mettre en évidence :
  - une lignée conduisant d'andésites basiques et enclaves gabbroïques à des dacites et rhyodacites, et
  - une autre d'origine commune avec la précédente et conduisant vers des trondjémities.
- \* Le strontium : l'évolution des teneurs en strontium, en fonction du taux de silice (Fig.153) ou en fonction du S.I. (Fig.154) montre une légère décroissance durant la différenciation.
- \* Le rubidium augmente sensiblement dans les termes différenciés (Fig.155 & 156). On observe l'existence de deux tendances évolutives, comme dans le cas du baryum. On ne note aucune corrélation interprétable entre K et Rb ainsi qu'entre Rb et Sr (Fig.157 & 157 bis).



	Enclaves	Andésites Basiques	Andésites	Estérellites	Dacites	Estérellites Rhyodacites	Trondjémite
SiO <sub>2</sub>	44,90	53,39	59,65	60,55	63,20	66,02	72,60
Na <sub>2</sub> O	2,56	3,42	3,69	4,29	4,27	4,65	3,78
K <sub>2</sub> O	0,39	1,32	1,76	1,45	1,22	2,01	0,93
Rb	5 ppm	32	47	43	28	49	25
Sr	276	433	348	366	360	432	307
Ba	120	364	365	508	367	580	318
K/Rb	78.10 <sup>3</sup>	40.10 <sup>3</sup>	37.10 <sup>3</sup>	33.10 <sup>3</sup>	43.10 <sup>3</sup>	41.10 <sup>3</sup>	37.10 <sup>3</sup>
K/Ba	3250	3620	4800	2800	3300	3460	2900
Ba/Rb	24	11,5	7,8	12	13	12	13
Ba/Sr	0,43	0,84	1,05	1,38	1,01	1,34	1,03
Rb/Sr	0,018 n = 4	0,074 n = 8	0,13 n = 4	0,11 n = 3	0,077 n = 3	0,011 n = 1	0,08 n = 1

Teneurs en éléments en traces dans les roches plutoniques et volcaniques liées au magmatisme tertiaire Paléogène des chaînes sub - alpines et du domaine liguro - provençal. (Alcalins, alcalino-terreux)  
ppm = 1.10<sup>-6</sup>

TABLEAU (8)

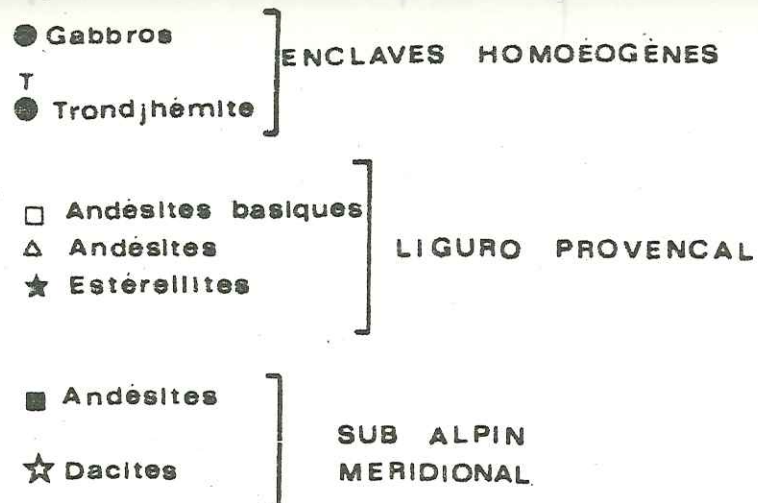
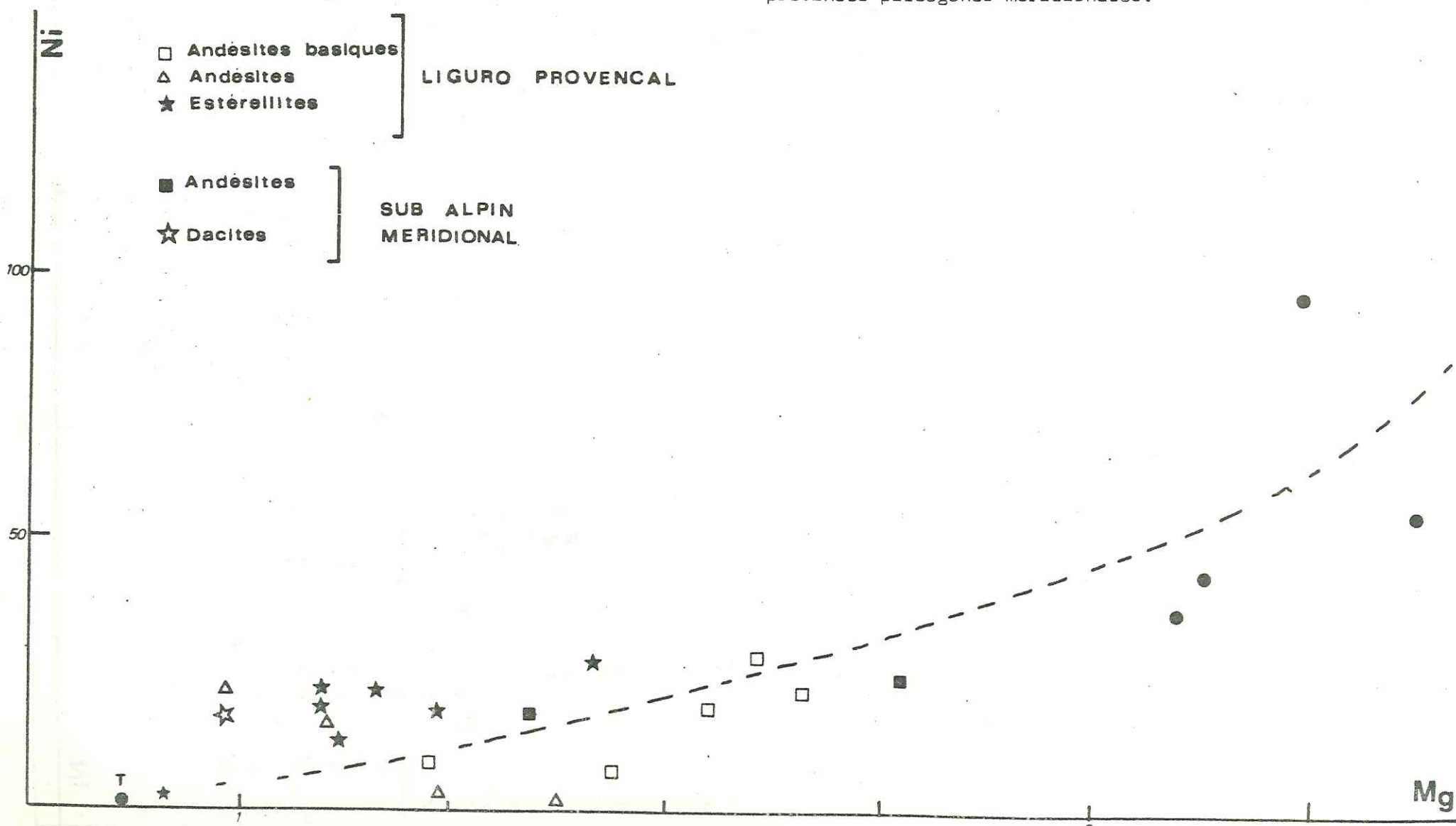
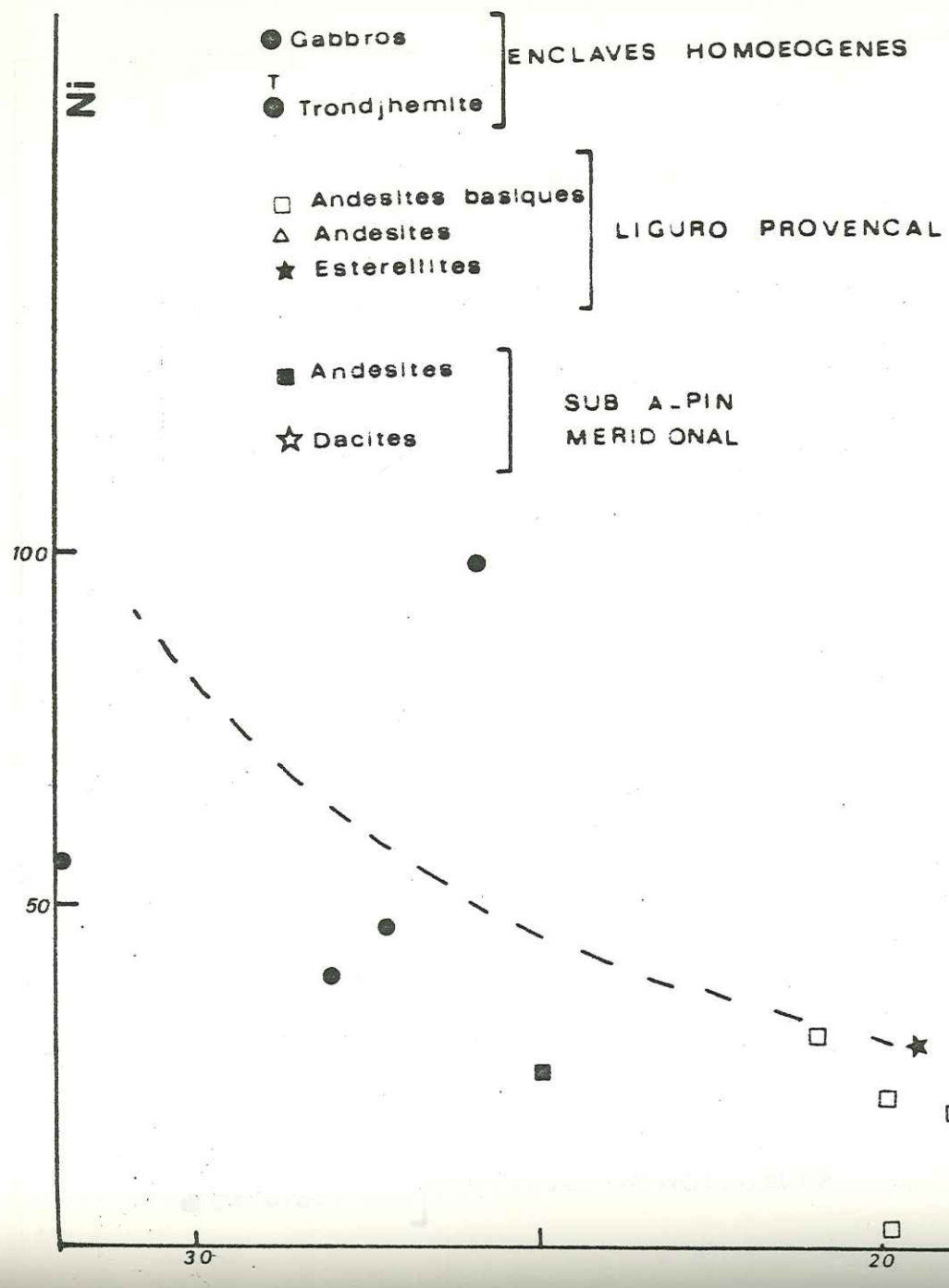


Figure: 158

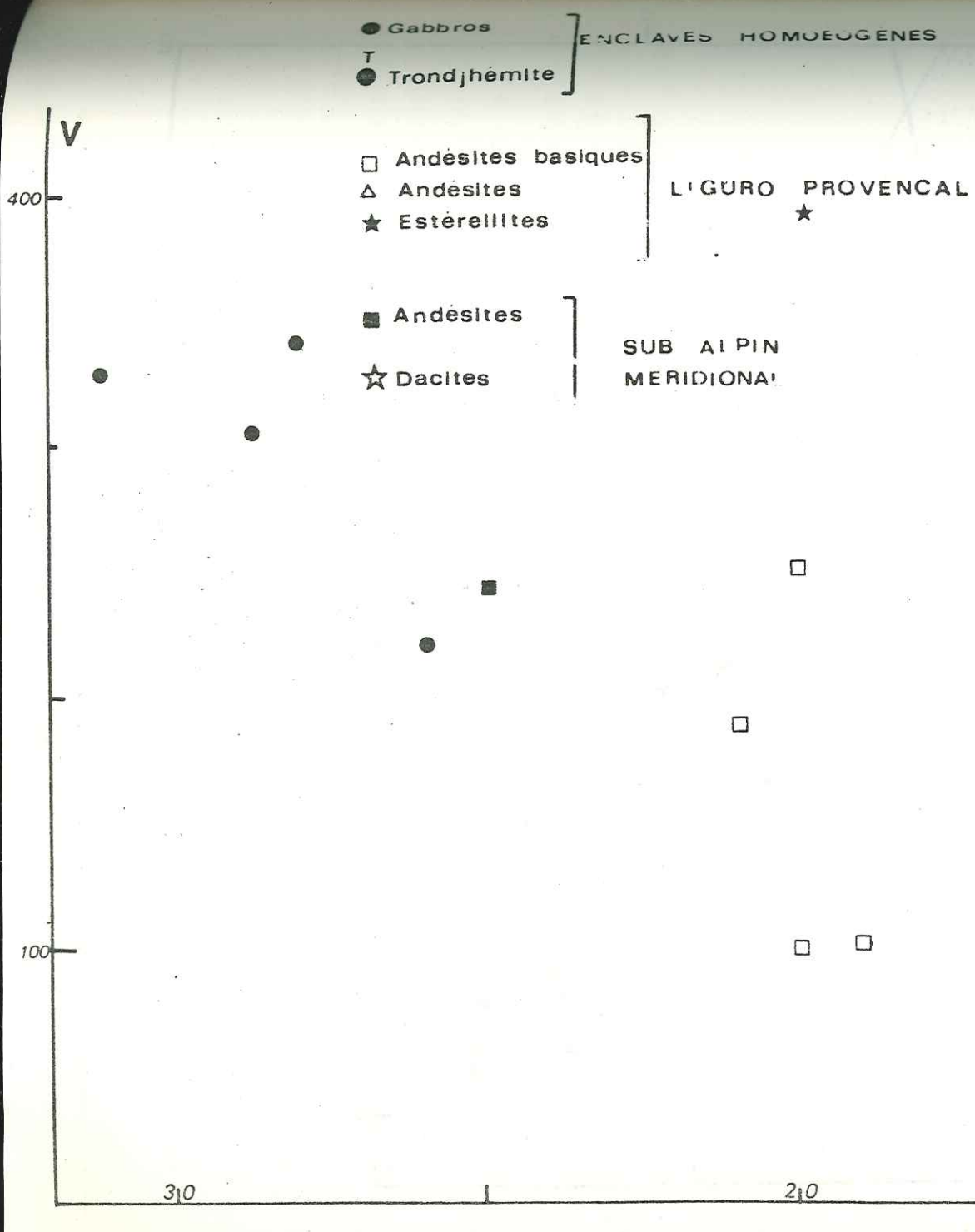
Diagramme Ni / Mg pour les roches calco - alcalines des provinces paléogènes méridionales.







278



279



Figure : 160

Diagramme Ni/Co pour les roches calco-alcalines des provinces paléogènes méridionales.

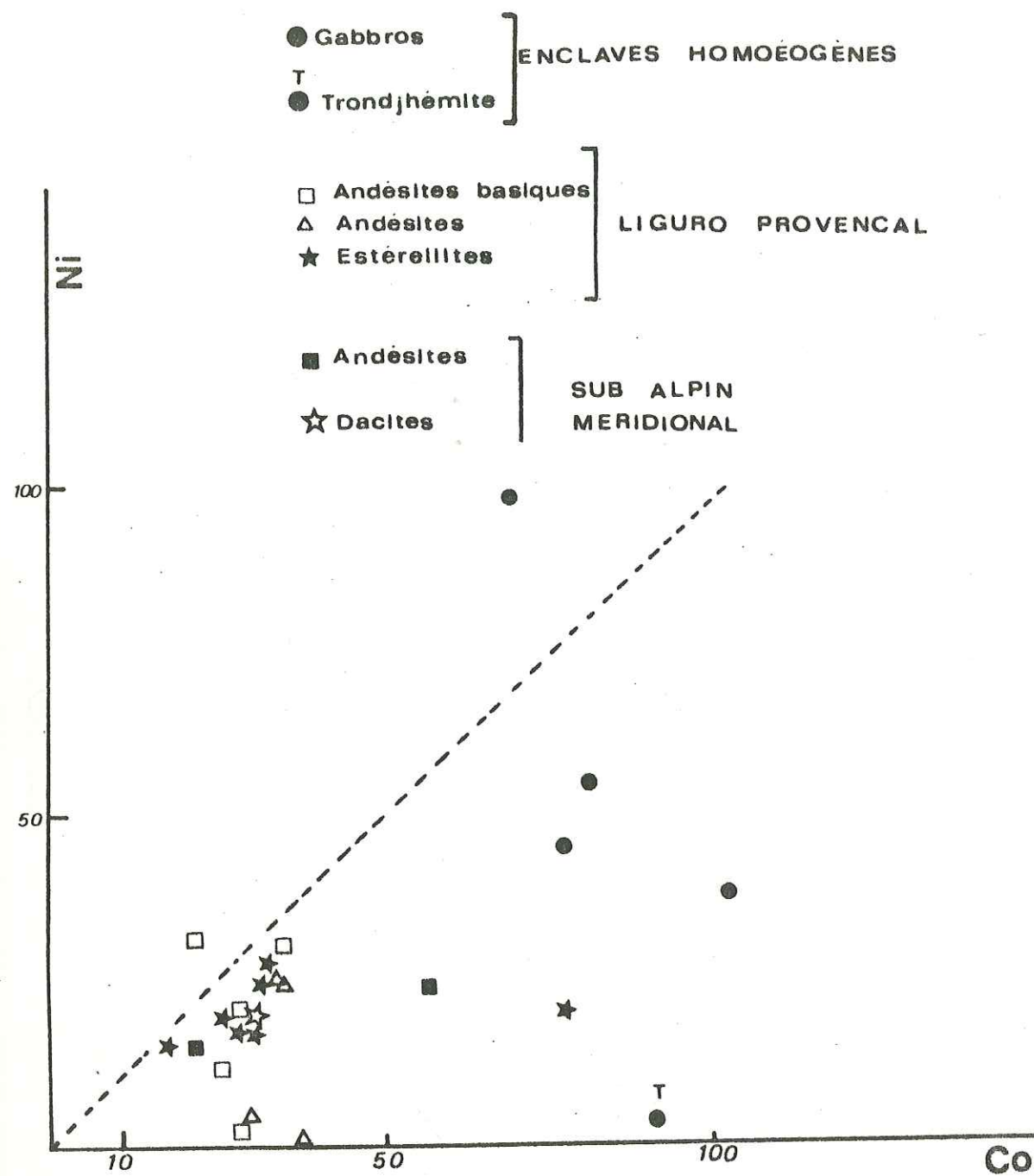


Figure : 161

Diagramme de C.Allègre (1968) pour les andésites des provinces paléogènes méridionales.

La zone limitée par les traits continus correspond au domaine de variation des teneurs en éléments de transition dans les andésites de marge et d'arc insulaire. (Moyennes in R.Andriambololona 1976). Teneurs normalisées par rapport aux Basaltes tholéitiques. La zone pointillée correspond aux roches étudiées (andésites liguro-provençales et sub-alpines méridionales). Les triangles noirs correspondent aux valeurs moyennes.

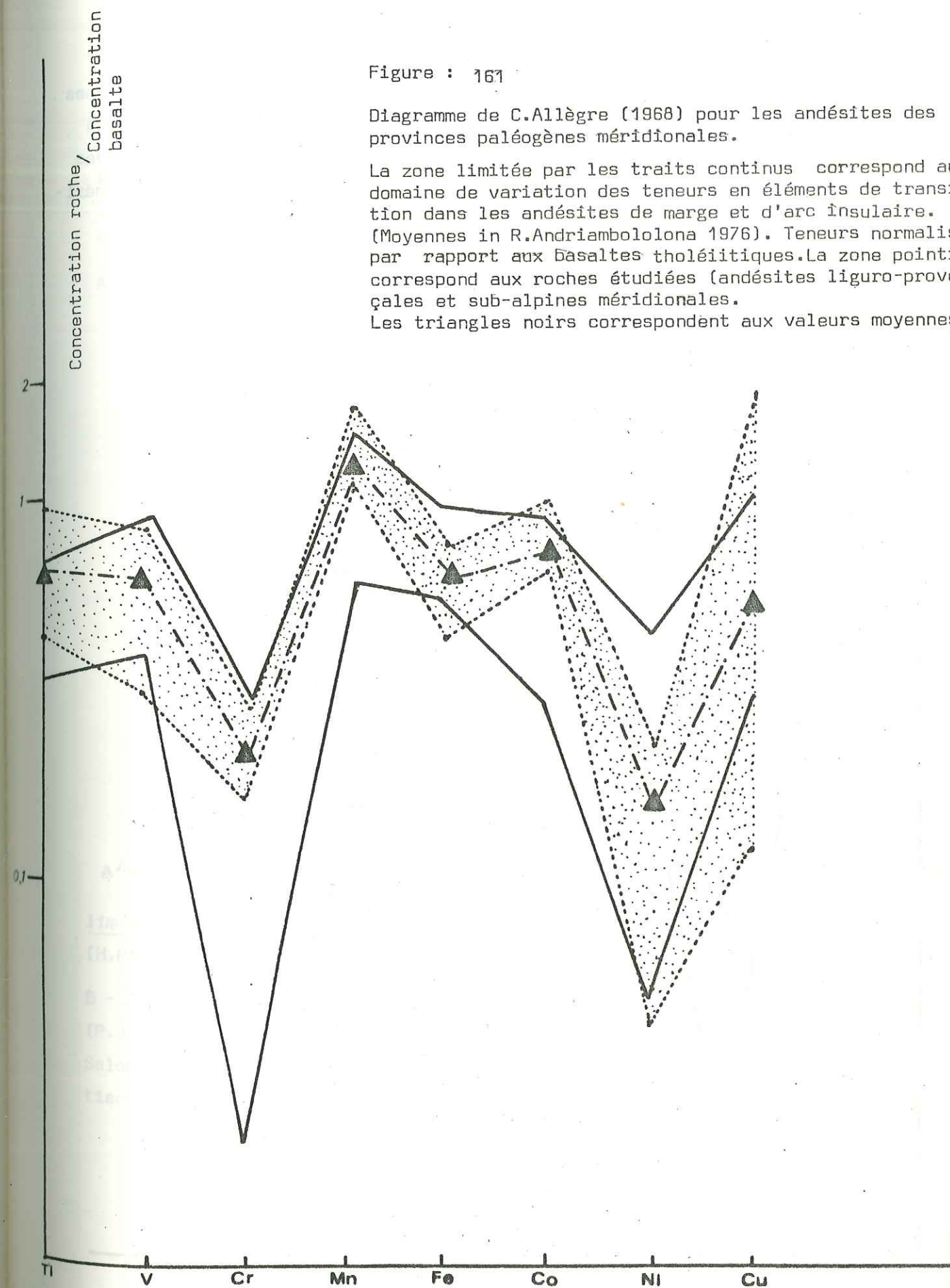




Figure : 162

Diagramme de C.J. Allègre (1968) pour les

andésites basiques et enclaves gabbroïques des provinces paléogènes méridionales. Zone limitée par des traits continus (variation des andésites mondiales (voir figure précédente). Zone limitée par des tiretés : andésites basiques liguro-provençales et sub alpines méridionales. Etoiles: enclave gabbroïque (P.L. 341)

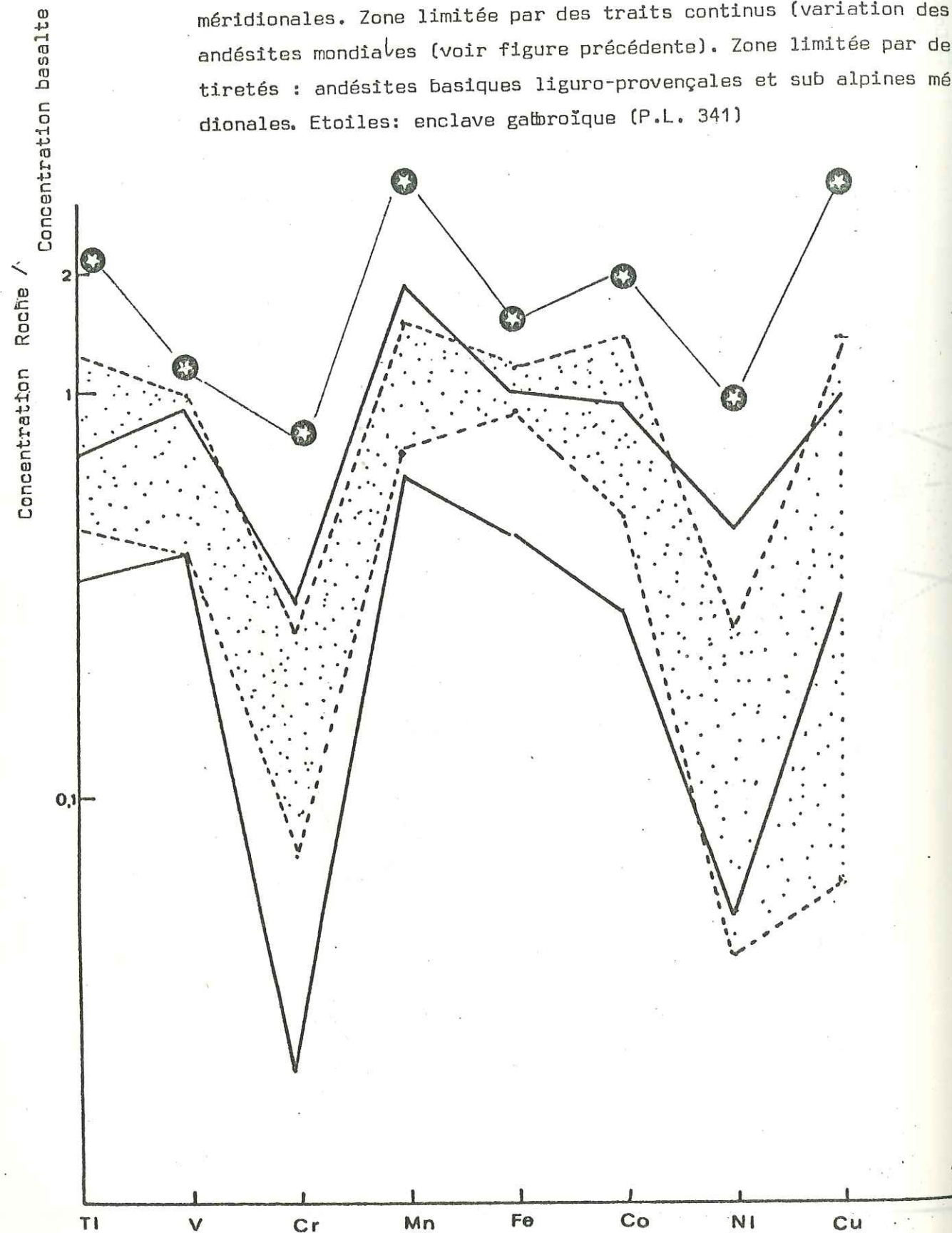
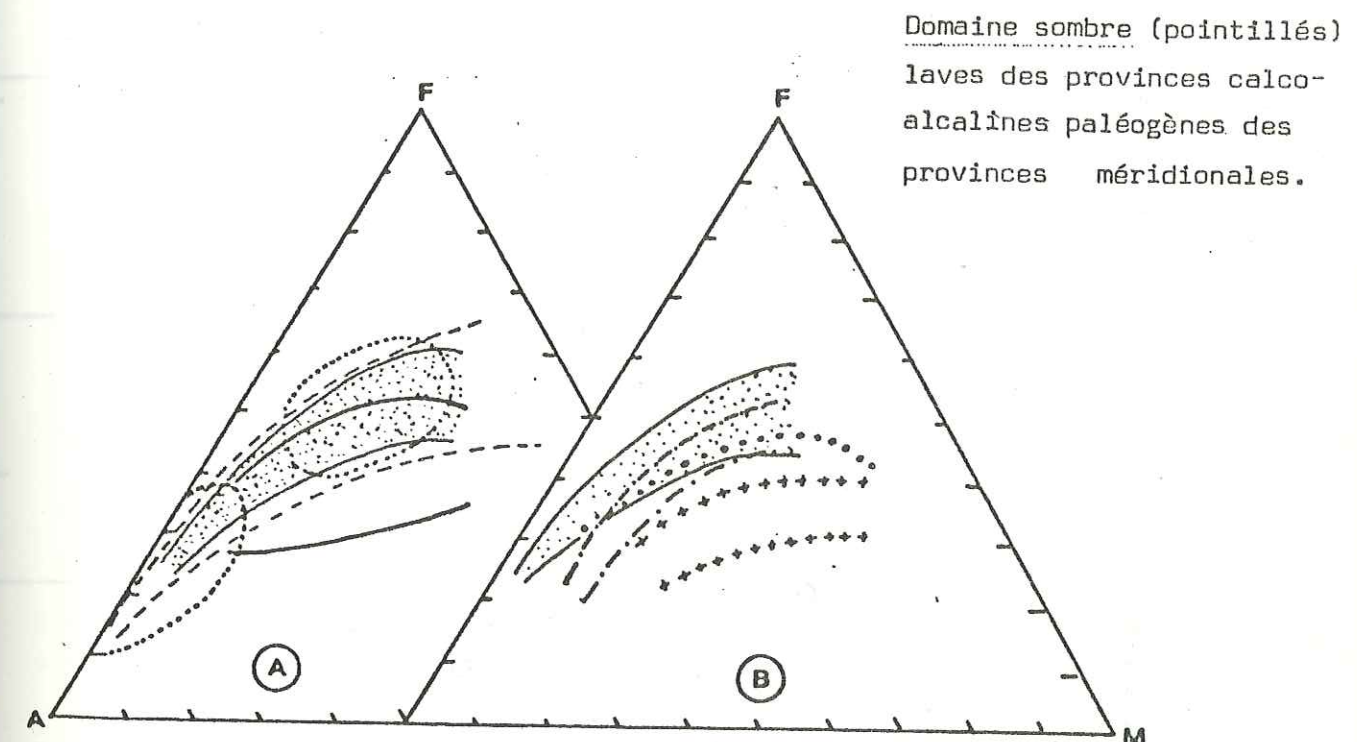


Figure: 163

Comparaison dans le diagramme F.M.A. entre la série calco - alcaline des provinces paléogènes méridionales péri - alpines et quelques associations calco-alcalines de marges continentales et d'arcs insulaires (données in C.Coulon 1977)

A -Séries de marges continentales : tiretés: laves calco-alcalines d'Amérique centrale (in A.R.Mc Birney 1969), aire limitée par des pointillés: laves calco - alcalines tertiaires d'Amérique Centrale (Mc.Birney 1969), domaine



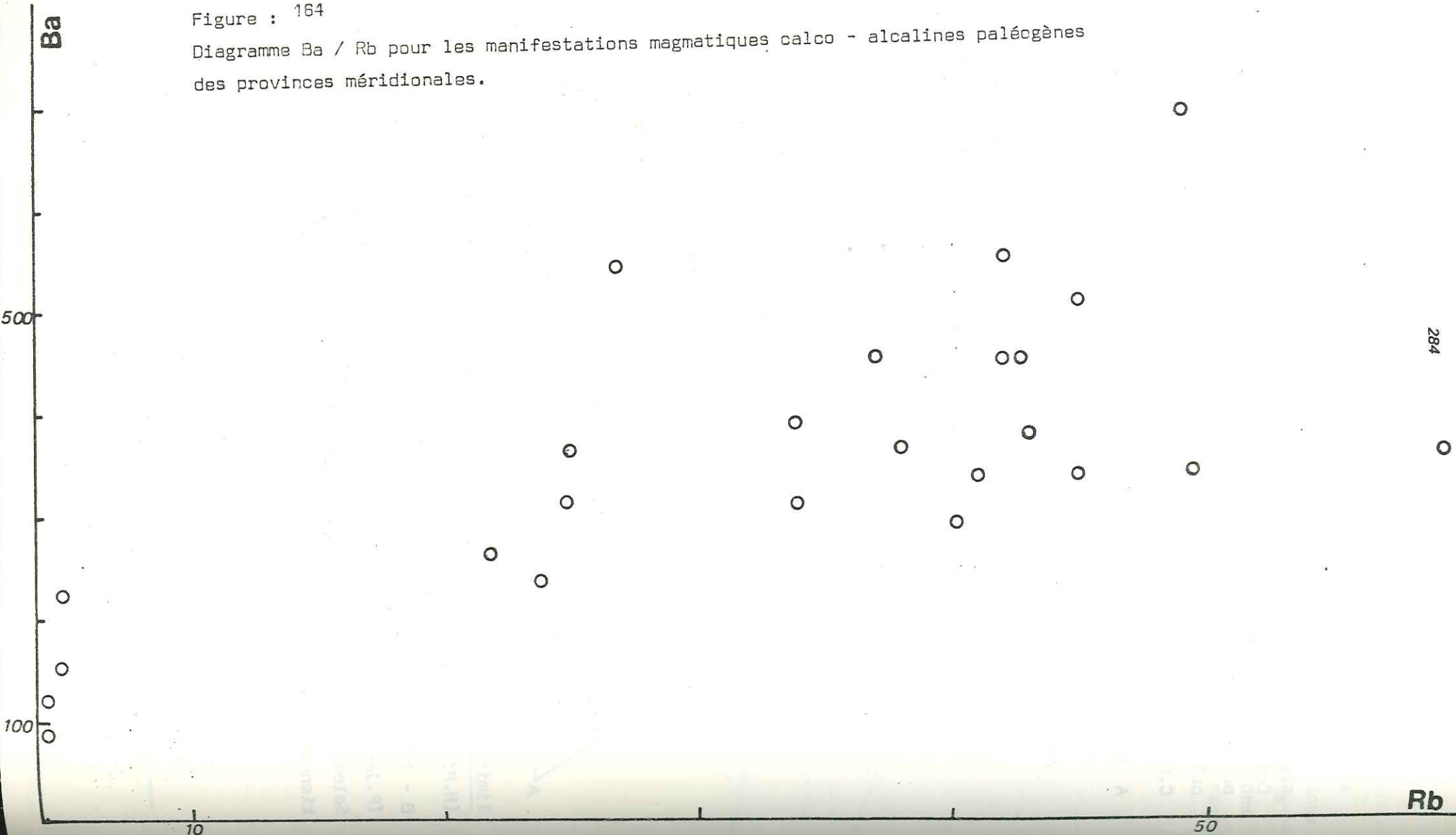
limité par des traits continus: laves andésitiques des Andes Chiliennes (H.Pichler, W.Zeil, 1969).

B - ) Domaine limité par des croix: laves calco-alcalines de Nouvelle Guinée (P.Jakes et A.J.R. White, 1969), domaine limité de lignes discontinues: îles Salomon (P.Jakes et A.J.R.White 1969), ligne en pointillés: îles Aléoutiennes (P.Jakes, I.E. Smith, 1970)



Figure : 164

Diagramme Ba / Rb pour les manifestations magmatiques calco - alcalines paléogènes des provinces méridionales.



	Enclaves	Andésites Basiques	Andésites	Estérellites	Dacites	Estérellites Rhyodacites	Trondjémite
SiO <sub>2</sub>	44,90	53,39	59,65	60,55	63,20	66,02	72,60
MgO	5,80	3,10	1,30	2,05	1,33	0,71	0,48
Fe <sub>tot.</sub>	8,32	7,80	5,51	4,85	3,58	2,60	4,96
V	302 ppm	190	192	129	120	73	96
Cr	150	35	52	60	60	87	11
Co	85	26	32	28	43	inf.10	98
Ni	59	14	17	22	19	inf.10	inf.10
Cu	124	48	80	4	20	inf.10	14
Ni/Co	0,69	0,60	0,31	0,78	0,44	-	-
Mg/Ni	983	221	764	931	700	-	-
	n = 4	n = 8	n = 4	n = 3	n = 3	n = 1	n = 1

Teneurs en éléments en traces dans les roches plutoniques et volcaniques liées au magmatisme tertiaire Paléogène des chaînes sub - alpines et du domaine liguro - provençal (Elements de transition)  
ppm =  $1.10^{-6}$



## A2-2) Les éléments de transition (Tableau 9).

- \* Le vanadium : les taux en V sont élevés dans les enclaves gabbro-dioritiques et correspondent aux valeurs connues dans des magmas basaltiques alumineux associés à des suites calco-alcalines (S.R. Taylor, 1969 ; J.F. Lewis, 1971 ; C. Coulon, 1977).
- \* Le nickel a des teneurs comparables à ce que l'on connaît des séries calco-alcalines. Les rapports Ni/Co varient de 0 à 0,79.
- \* Le cobalt montre des teneurs plus élevées que la moyenne des séries calco-alcalines. Ceci a pour effet de rabaisser la valeur du rapport Co/Ni.
- \* Le cuivre montre une répartition irrégulière. Les plus fortes teneurs sont enregistrées dans les termes les plus basiques (andésites et andésites basiques).
- \* Le chrome a des teneurs élevées dans les enclaves gabbroïques.

Durant la différenciation, le comportement des éléments de transition est irrégulier. Une corrélation s'observe, cependant, entre le nickel et le magnésium (Fig.158) qui diminue durant la différenciation (Fig.158a).

Le vanadium suit cette tendance de façon moins nette (Fig.159) ainsi que le nickel, mal corrélé au cobalt (Fig.160).

Nous avons reporté les teneurs en éléments de transition dans les diagrammes de C. Allègre et coll. 1968. Les teneurs en éléments de transition sont normalisées par rapport aux basaltes (moyenne établie par R. Andriambololona, 1976, pour les basaltes tholéitiques).

Les diagrammes relatifs aux andésites et andésites basiques (Fig.161 & 162) montrent que l'évolution des teneurs en éléments de transition est sensiblement conforme à ce que l'on connaît dans les andésites mondiales.

Le diagramme se rapportant aux termes plus basiques (enclaves dioritiques et gabbroïques) montrent que les teneurs en éléments de transition sont plus élevées que dans les basaltes mondiaux. Le taux de Cr et de Ni sont ceux qui se rapprochent le plus de ce que l'on connaît dans le monde (Fig.162).

Notons, enfin, que les andésites basiques se placent dans ces diagrammes en position intermédiaire entre les enclaves gabbroïques et les andésites.

## A 3) GEOCHIMIE COMPAREE.

Nous avons comparé les roches volcaniques des provinces paléogènes péri-alpines occidentales à des roches de même type mises en place dans des contextes de marges continentales actives ou d'arcs insulaires.

Les données comparatives ont été empruntées à C. Lefèvre (1979), C. Coulon (1977).

Le Tableau 10 figure les principaux caractères des laves émises en contexte de marge continentale active et d'arc insulaire.

Pour établir cette comparaison, nous avons d'abord utilisé le diagramme F.M.A. (Fig.163).

La lignée de différenciation des laves des provinces paléogènes méridionales les apparente à celles des marges actives continentales.

L'étude des éléments majeurs (en particulier le potassium) révèle des caractères de mise en place dans les arcs insulaires. Le potassium présente, en effet, des valeurs très faibles dans les andésites et andésites basiques, exception faite, toutefois, des laves à tendances shoshonitiques associées aux andésites moyennement riches en K. L'abondance des termes basiques et intermédiaires, ainsi que les valeurs faibles du Ba et du Rb, suggèrent également un environnement d'arc insulaire.

C. Lefèvre (1979) à la suite de C. Dupuy (1974) met en évidence l'absence de corrélation entre Ba et Rb dans les andésites de marges.

Nous n'observons aucune corrélation de ce type dans la lignée qui nous intéresse. Il s'agit donc d'un caractère de marge continentale active (Fig.164).

En résumé, les andésites et roches associées des provinces calco-alcalines paléogènes méridionales montrent des caractères qui les apparentent à des laves

- \* d'arcs insulaires : taux de potassium faible dans les andésites, abondance des termes basiques (en particulier au niveau des enclaves homogènes), faibles valeurs de Ba et de Rb,

- \* de marges continentales actives : présence de termes acides, rapport Ba/Sr compris entre 0,43 et 1,38, présence d'enclaves énallogènes hercyniennes dans les dacitoïdes, position de la lignée de différenciation dans le diagramme A.F.M.

Il n'est pas possible de trancher, actuellement, sur le vu des seuls critères pétrologiques et géochimiques entre ces deux possibilités.



	ANDESITES							D'ARCS							INSULAIRES							ANDESITES DE MARGES CONTINENTALES ACTIVES							LIGURO PROVENÇAL			SUB ALPIN		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(14)	(15)	(16)	(17)	(14)	(15)	(16)	(17)	(14)	(15)	(16)	(17)					
SiO2	60,27	60,50	57,30	58,80	58,10	58,00	59,20	58,93	59,60	59,00	59,30	60,60	60,08	58,60	60,81	61,00	62,10	58,60	60,81	61,00	62,10	58,60	60,81	61,00	62,10	58,60	60,81	61,00	62,10					
K2O	1,05	0,80	0,70	1,20	2,30	0,90	1,10	1,13	2,70	2,80	2,20	3,00	2,18	1,86	1,29	1,50	1,60	1,86	1,29	1,50	1,60	1,86	1,29	1,50	1,60	1,86	1,29	1,50	1,60					
Rb	15	11	10	20	51	28	24	25	64	134	83	106	64	47	34	57	41	47	34	57	41	47	34	57	41	47	34	57	41					
Ba	-	234	110	354	280	-	282	213	964	-	734	-	950	339	453	352	331	339	453	352	331	339	453	352	331	339	453	352	331					
Sr	296	241	215	489	673	364	330	257	638	527	706	495	654	347	364	294	347	347	364	294	347	347	364	294	347	347	364	294	347					

- (1) Moyenne andésites Arc des Petites Antilles (Nevis Peak) A.L.Smith et coll (1980, (2) Arc de Tonga A.Ewart et coll.1973  
 (3) Saipan : S.R.Taylor et coll 1969, (4) Iles Fiji: J/B Gill 1970, (5) Bougainville : S.R. Taylor et coll.1969  
 (6) Nouvelle Zélande : A.Ewart,J.J.Stipp, 1968 (7) Japon : S.R.Taylor,A.J.R. White 1966 (8) Guadeloupe moyenne de six andésites : B.M. Gunn et coll 1980  
 (9) Pérou: C.Dupuy,Ch.Lefèvre 1974, (10) Argentine : P.K. Hörmann et coll. 1973, (11) Chili : A.Siegers,H.Pichler 1969  
 (12) Bolivie : A.C. Fernandez et coll. 1973. (13) Pérou méridional (29 analyses) Lefèvre 1979  
 (14) Andésite Terme Blanc de Biot (15) Estérellite du Drammont (16) Andésite Biot (17) Andésite Saint Antonin (annexes n° 65)  
 (annexes n° 74)  
 (annexes n° 76)  
 (annexes n° 88)

COMPOSITIONS COMPAREES DE QUELQUES ANDESITES DE MARGES ACTIVES ET D'ARCS INSULAIRES MONDIALES

AVEC DES ANDESITES DES PROVINCES LIGURO-PROVENÇALES ET SUB- ALPINE MERIDIONALE

T A B L E A U 10

#### A 4) GEOCHIMIE ISOTOPIQUE : Etude du rapport $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ .

Les mesures ont été réalisées par J.C. Baubron (1974) sur des andésites et des dacites de la région niçoise, de la province sub-alpine méridionale, et des estérellites du massif de l'Estérel.

Les valeurs du rapport  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  varient sensiblement depuis des valeurs faibles (0,7029 dans l'estérellite à pyroxène du secteur de Cou) à des valeurs très fortes (0,721 dans un faciès de l'estérellite altéré hydrothermalement).

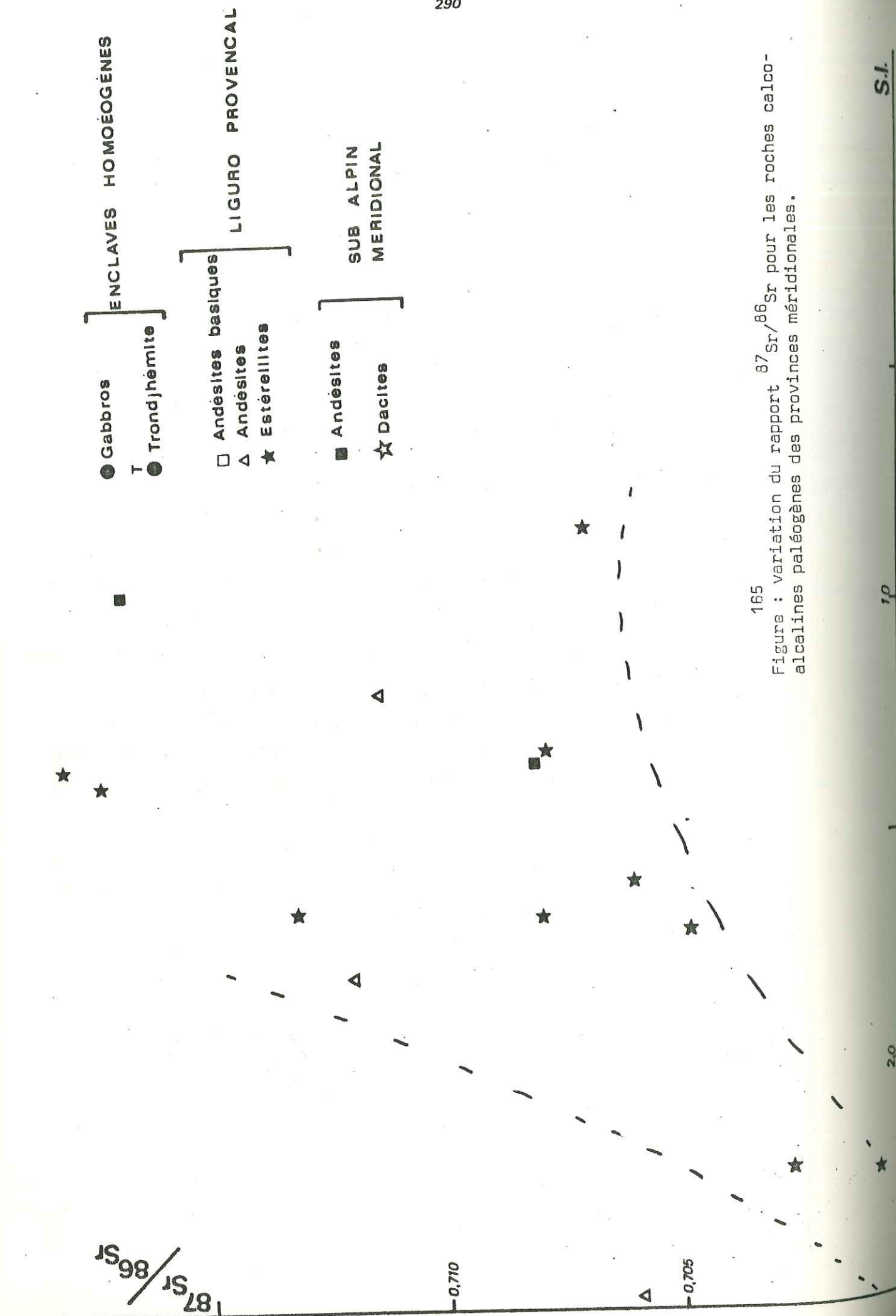
J.C. Baubron interprète les valeurs élevées comme le résultat de phénomènes de contamination de l'estérellite par la roche encaissante, lors de la mise en place. Les variations du taux de potassium auraient la même origine. Il convient, semble-t-il, de nuancer cette hypothèse. En effet, les phénomènes de contamination au contact des intrusions magmatiques (endométamorphisme) sont généralement discrets (R.C. Maury, 1976). De plus, les estérellites sont arrivées très proches de la surface comme en atteste leur mésostase souvent vitreuse et il paraît difficile qu'elle ait pu "digérer" un encaissant permien constitué d'arkoses de rhyolites et de dolérites.

Il existe, cependant, certaines contradictions qu'il faut tenter d'expliquer.

Les estérellites qui, pétrographiquement et géochimiquement sont liées aux andésites ligures (sensiblement de même âge) montrent des valeurs très faibles du rapport  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ , sauf dans quelques échantillons interprétés par J.C. Baubron comme des faciès contaminés. Les andésites par contre présentent des rapports élevés.

Si l'on reporte les valeurs du rapport  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  (Fig.165) en fonction de l'indice de solidification de H. Kuno (1968) on remarque que ce rapport a tendance à augmenter avec la différenciation ou avec le caractère résiduel de certaines roches ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0,721$  dans l'estérellite holoplagioclasique du point coté 90,2). Il conviendrait, bien sûr, de disposer de plus de mesures afin de confirmer cette tendance. Si cette hypothèse de travail était vérifiée on pourrait montrer que les rapports isotopiques du strontium peuvent être faussés par les phases hydrothermales qui accompagnent la mise en place des produits de fin de différenciation, et ce autant que par les phénomènes de contamination crustale.





## B) LA PROVINCE HELVETICO-SAVOYARDE.

Les laves de cette province montrent une variation du taux de silice comprise entre 41,50 et 60,30%.

Ces roches sont très transformées. Leur mésostase, à l'origine hyaline, est transformée en chlorite. Elles présentent entre 3,50 et 12% de perte au feu. Il est délicat de caractériser de telles roches à l'aide des diagrammes géochimiques traditionnels.

### B 1) GEOCHIMIE DES ELEMENTS MAJEURS.

#### B 1-1) Caractères géochimiques dominants.

\*  $\text{SiO}_2$  : Les taux de silice sont anormalement bas. Ils sont dus essentiellement aux fortes valeurs de la perte au feu.

Si l'on recalcule ces analyses à 100, abstraction faite d' $\text{H}_2\text{O}$ , on obtient des taux de silice compris entre 47,3 et 63,2%, ce qui correspond, dans la nomenclature de Pecerillo et Taylor (1976) à des basaltes alumineux des andésites basiques et des andésites.

\*  $\text{Al}_2\text{O}_3$  : Le taux d'aluminium, compris entre 15,6 et 21% est caractéristique des séries calco-alcalines.

\*  $\text{CaO}$  et  $\text{Na}_2\text{O}$ : Nous avons reporté sur le diagramme (Fig.166)

$\text{MgO} = f \left( \frac{\text{Al}_2\text{O}_3}{\text{Na}_2\text{O} + \text{CaO}} \right)$  les points représentatifs des laves de la Province Helvético-Savojarde.

Les roches montrent une disposition désordonnée et se situent nettement en marge de la tendance évolutive des suites calco-alcalines précédemment mise en évidence (Cf p. 252). Seules 3 roches se rapprochent de la tendance normale. Il s'agit d'échantillons présentant peu d'indices d'altération (pertes au feu plus faibles). Leur composition est celle d'andésites basiques et de basalte, ce qui correspond bien à leur position dans le diagramme.

\*  $\text{MgO}$  : Les taux de magnésium sont compris entre 2,78 et 8,18%. Ces valeurs correspondent à des teneurs de basaltes, d'andésites et d'andésites basiques.



Figure 166 : Diagramme

$$\text{MgO} = f \frac{\text{Al}_2\text{O}_3}{\text{Na}_2\text{O} + \text{CaO}} \quad \text{pour les laves}$$

paléogènes de la Province Helvético Savoyarde

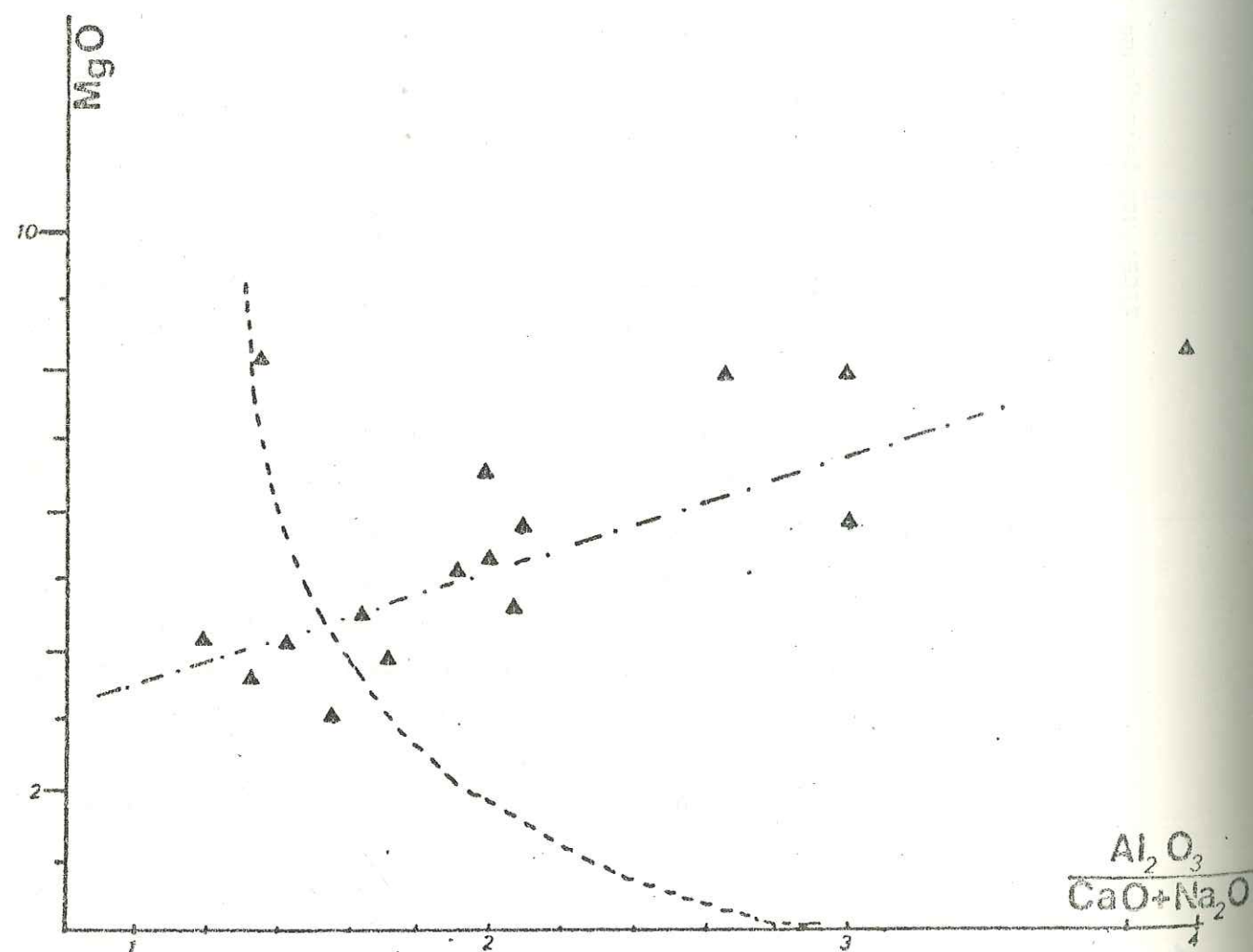


Figure : 167

Diagramme de A. Myashiro (1974 ).

pour les laves andésitiques de la province Helvético-Savoyarde.

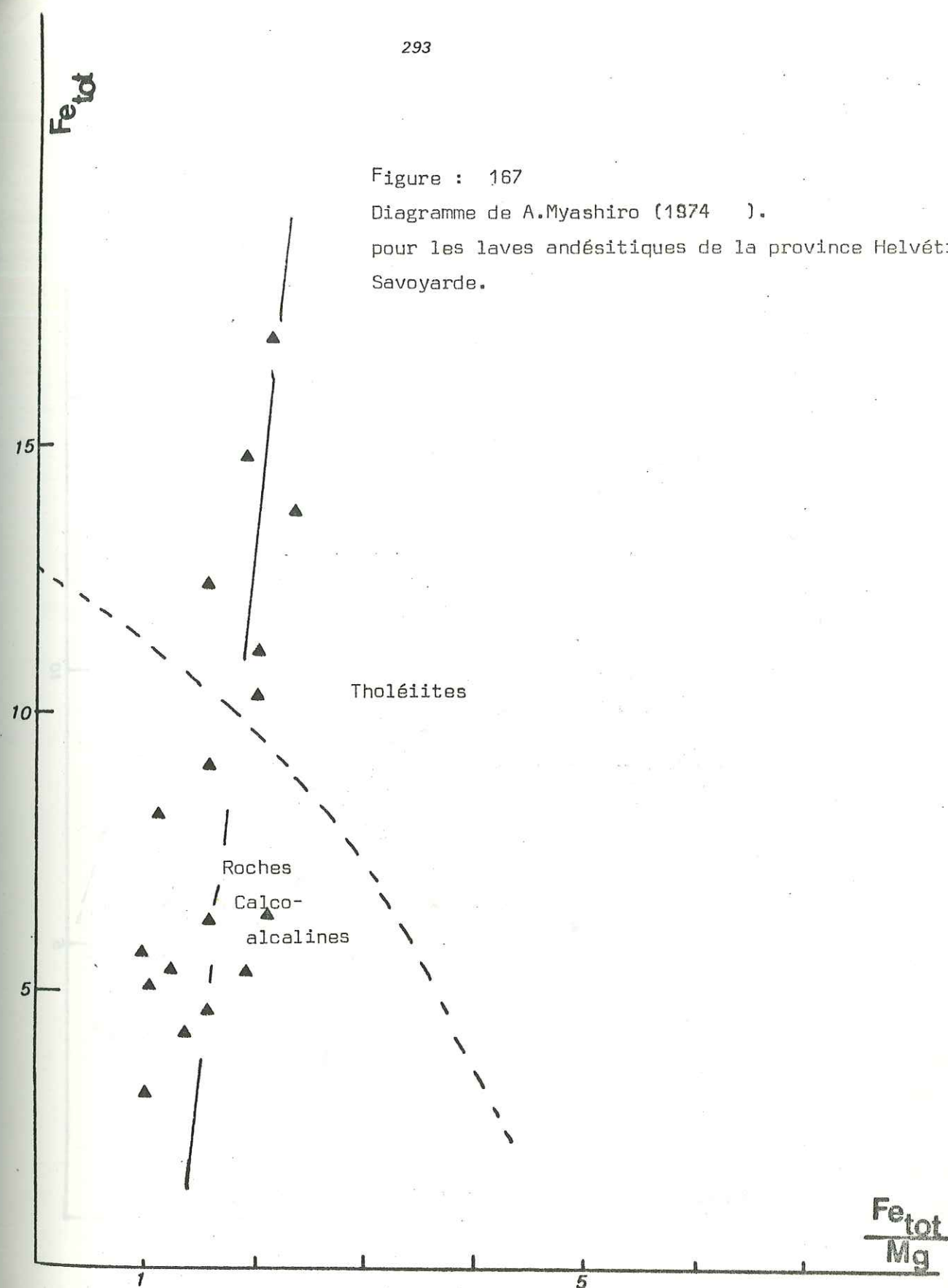
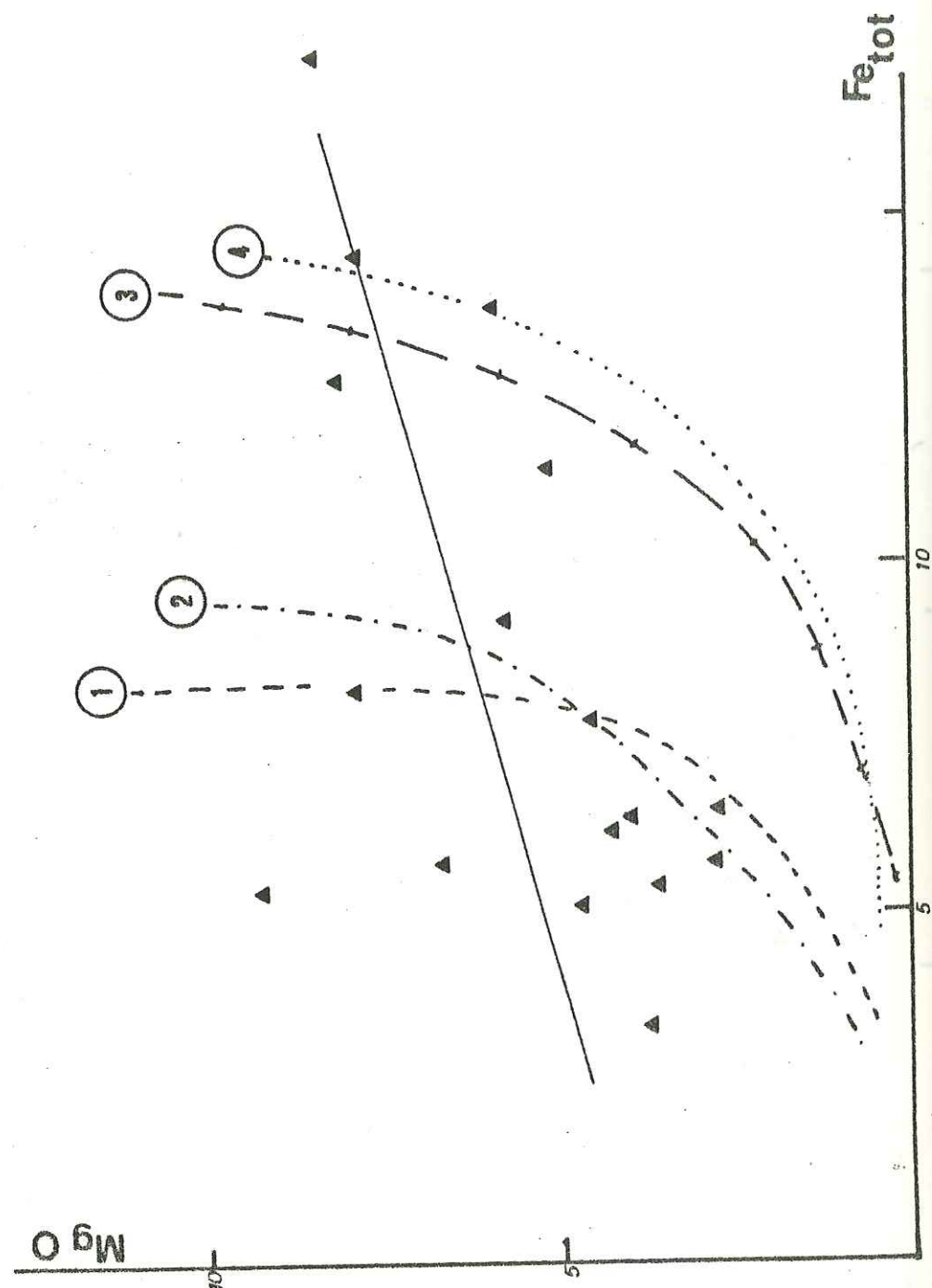




Figure : 168  
Diagramme de G.A. Joplin 1968 pour les laves andésitiques  
de la province helvético - savoyarde.



(1) (2) (3) (4) Lignées de variation de séries fondamentales (voir légende Figure 149)

\*  $\text{FeO}$  et  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  : Le rapport  $\text{Fe}_2\text{O}_3 / (\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO})$  varie de 0,25 à 1. La moitié des roches analysées montrent un rapport inférieur à 0,50. Sur le diagramme de Myashiro (1974) (Fig. 167) les points représentatifs des laves de la Province Helvético-Savoyarde recoupent la limite des champs calco-alcalin et tholéitique. Cette disposition est liée à l'existence de roches anormalement riches en fer.

Il en est de même dans le diagramme de G.A. Joplin (1968) dans lequel les laves étudiées se distribuent suivant une lignée sécante par rapport aux autres lignées de différenciation (Fig. 168).

\* Le potassium : Il varie de 0,85 à 3,34. Dans le diagramme alcalins-silice (Fig. 169) les roches riches en potassium se situent en dessus du champ des lignées alumineuses.

Dans le diagramme  $\text{K}_2\text{O} - \text{SiO}_2$  (Fig. 170) les laves montrent une distribution désordonnée.

\* Le titane : Cet élément peu mobile montre des teneurs typiquement calco-alcalines.

L'étude des éléments majeurs montre une importante variation des taux de silice dans les laves étudiées (47 à 62,5% pour des analyses recalculées sans  $\text{H}_2\text{O}$ ).

#### B 1-2) Variation des éléments chimiques majeurs en fonction de l'indice S.I. de H. Kuno (1968). (Fig. 171).

La valeur de l'indice de solidification varie de 18 à 35 ce qui devrait correspondre, dans le cas de termes différenciés, à des roches évoluant des basaltes aux andésites acides.

On ne note aucune corrélation nette entre la variation de S.I. et celle d'aucun des éléments majeurs étudiés. Ceci semble indiquer que la gamme assez large des valeurs de  $\text{SiO}_2$  ne correspond pas à un processus de différenciation.

Ceci est confirmé par le diagramme F.M.A. (Fig. 172). Dans ce diagramme, les points représentatifs des laves helvético-savoyardes montrent une répartition anormale.



Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O

SERIES ALCALINES

SERIES  
ALUMINEUSES

SERIES THOLEIITIKES

Figure: 169

Diagramme alcalins - silice des laves de la Province  
Helvétique - Savoyarde.

SiO<sub>2</sub>

296

K<sub>2</sub>O

SHOSHONITES

LATITES

ABSAKOKITES

K - Andésite

K - Andési  
basalte

K - Basalte

DACITE

ANDESITE

ANDESI  
BASALTE

BASALTE

Andési-basalte  
pauvre en K

Andésite pauvre  
en K

Dacite pauvre en K

Basalte pauvre en K

SiO<sub>2</sub>

Figure: 170

Diagramme K<sub>2</sub>O / SiO<sub>2</sub> (nomenclature  
Peccerillo et Taylor 1976) pour  
les laves de la province Helvético-  
savoyarde.

297



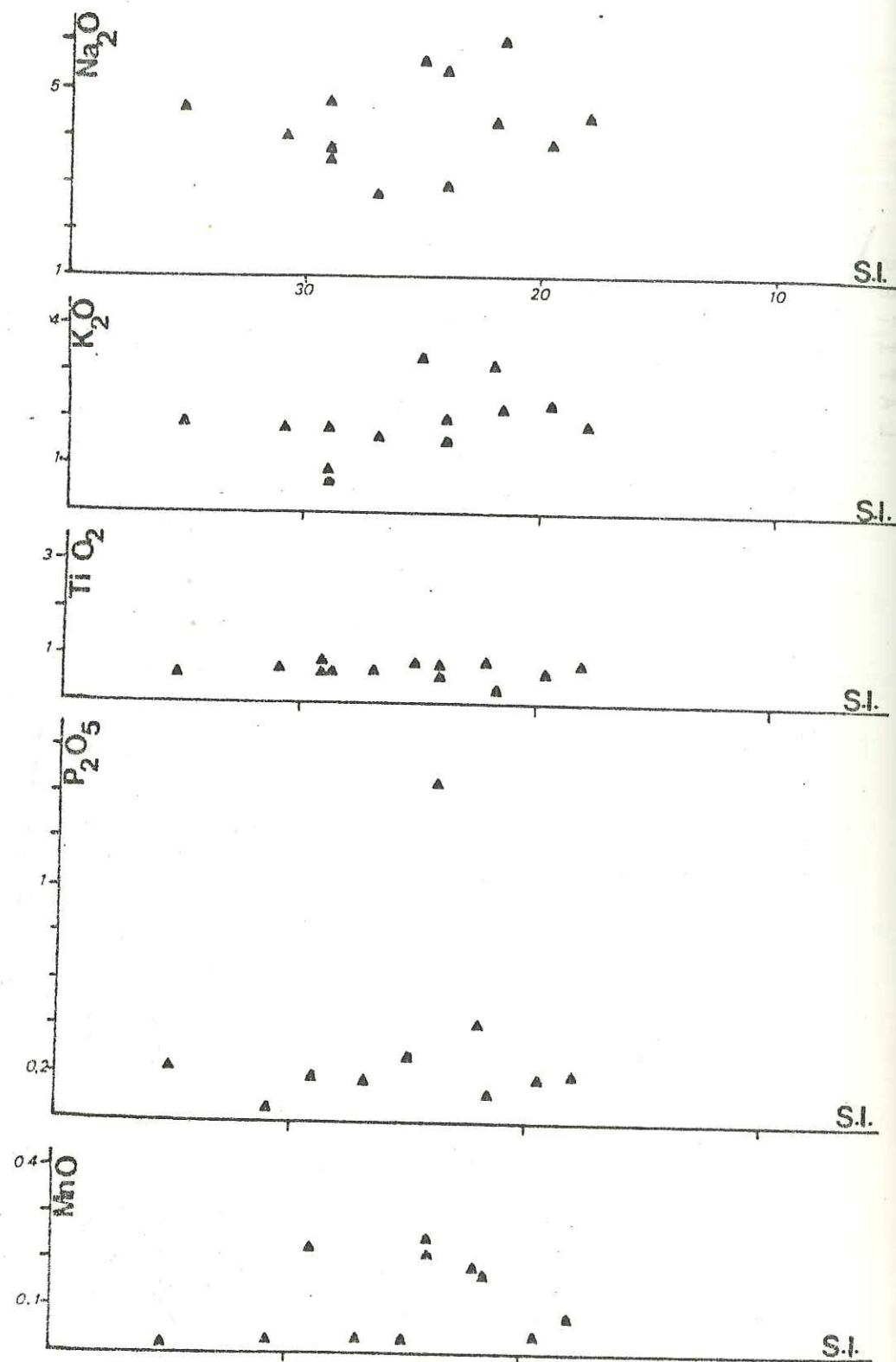
Figures: diagramme S.I. (H.Kuno 1968) a fonction des oxydes pour les

171

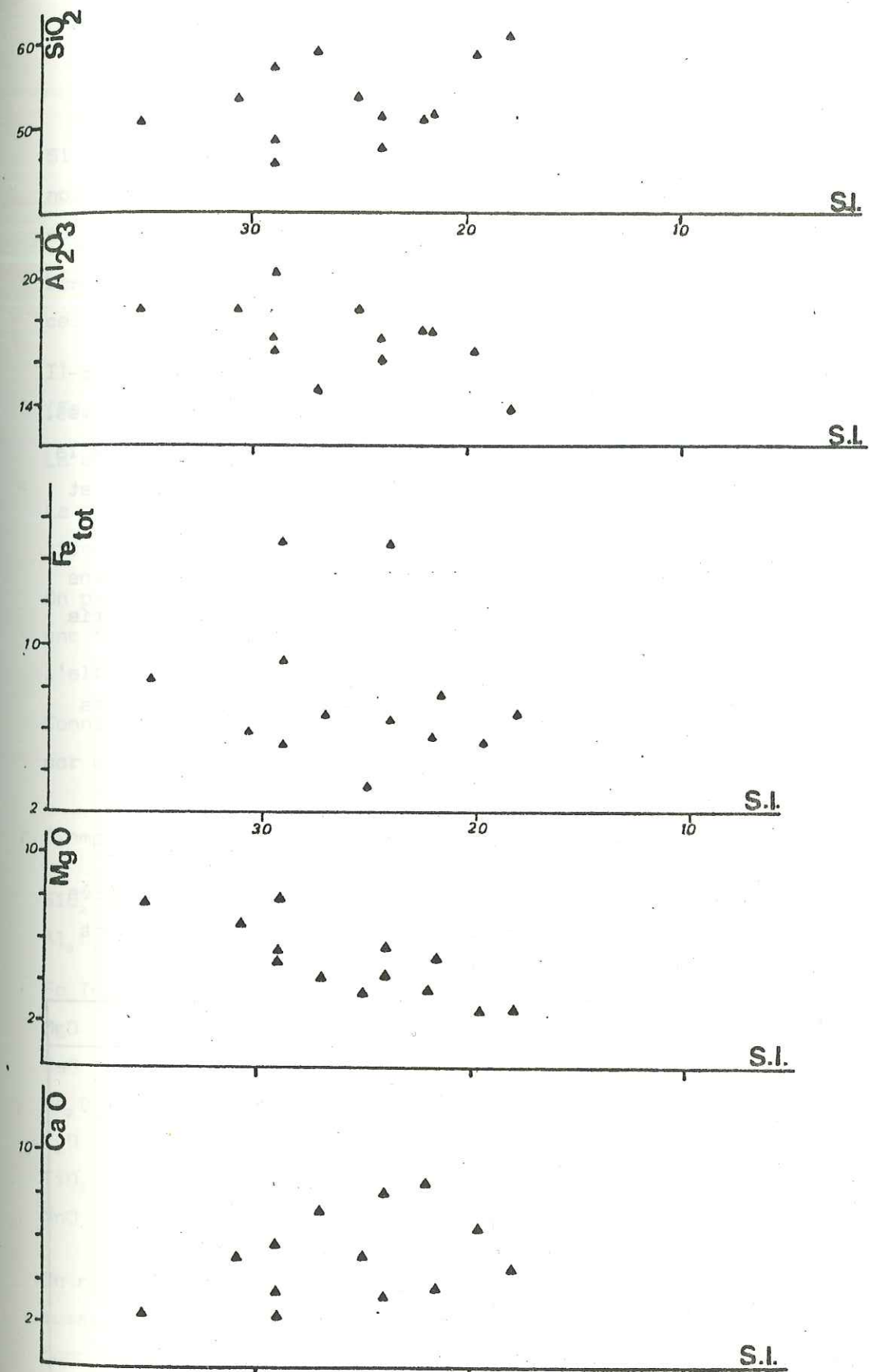
laves de la province helvético-savoyarde.

et 172

298



299





### B 1-3) L'altération de roches, cause probable des anomalies géochimiques.

Les roches volcaniques de la Province Hélvético-Savoyarde ne peuvent être intégrées de façon sûre dans une des séries magmatiques actuellement connues.

Les variations de composition chimique, en particulier  $\text{SiO}_2$ , sont importantes, et on ne peut dégager aucune filiation entre les différentes laves. On ne peut, en outre, corrélérer les variations de composition chimique à la minéralogie des laves qui est très uniforme (cf. chapitre Pétrographie et Minéralogie).

Les hautes teneurs en  $\text{Al}_2\text{O}_3$  et les valeurs moyennes des éléments alcalins permettent, en première approximation, de placer ces roches dans la série calco-alcaline.

Il convient, cependant, de rechercher les causes possibles des anomalies observées, en particulier :

\* les fortes teneurs en Fer,

\* le large intervalle de variation du potassium.

Nous avons analysé, à la microsonde électronique, la mésostase des faciès vitreux de deux andésites provenant, l'une du Crêt du Loup (P.L. 543) et l'autre du gisement de l'Arbaron (Ta 21b).

	Roche totale	Mésostase	Roche totale	Mésostase
	P. L.	5 4 3	T.A.	2 1 b
$\text{SiO}_2$	47,72	32,59 33,01	48,10	32,53 34,95
$\text{Al}_2\text{O}_3$	18,35	16,82 16,77	20,10	16,89 17,13
$\text{Fe}_2\text{O}_3$			2,33	
FeO	10,65	27,81 26,95	6,89	23,94 24,25
MgO	5,40	10,35 10,41	5,60	13,46 12,76
CaO	5,80	0,95 1,13	5,93	0,92 0,85
$\text{Na}_2\text{O}$	3,67		3,75	0,47 1,70
$\text{K}_2\text{O}$	1,63	0,17 0,48	0,95	0,29 0,11
$\text{TiO}_2$	0,67		0,65	0,03
$\text{P}_2\text{O}_5$	0,20		0,20	
MnO	0,19	0,31 0,36		0,26 0,29
$\text{H}_2\text{O}(+)$	5,16		4,03	
$\text{H}_2\text{O}(-)$			0,77	
	99,44	89,03 88,81	99,39	88,80 92,18

Si l'on compare ces analyses à celles des verres andésitiques ou dacitiques non altérés, on constate que le taux de silice est très bas contrairement au taux de fer et de magnésium.

Les alcalins, quant à eux, montrent des teneurs très basses. Le verre de ces roches a été entièrement transformé en un produit chloriteux.

Il s'agit d'une chlorite riche en (Al, Fe, Mg) proche du type diabantite ( $\text{Fe}/(\text{Fe} + \text{Mg}) = 0,60$  et  $\text{Si} = 6,5$  à  $7,14$ ).

La détermination de cette chlorite a été confirmée par diffractométrie "X".

La composition du verre chloritisé est responsable des faibles taux de silice enregistrés dans les laves savoyardes.

On peut tenter un calcul, qui, bien que très approximatif, permet d'avoir une idée des perturbations induites sur le chimisme de la roche totale par l'altération.

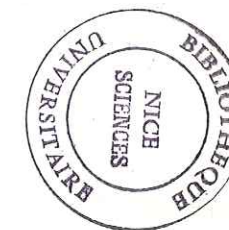
Connaissant l'analyse de la roche altérée et celle de sa mésostase, on peut, par un calcul de moyennes estimer quelle était l'analyse d'origine.

\* Exemple pour la roche Ta 21 b :

$\text{SiO}_2$  recalculé : 63,90 ce qui représente 15,80% d'écart avec la roche altérée

$\text{Al}_2\text{O}_3$	16,89 inchangé	valeurs aberrantes
Fe Total	23,89 enrichissement	
MgO	13,46 enrichissement	
CaO	10,94	
$\text{Na}_2\text{O}$	3,75	
$\text{K}_2\text{O}$	1,69	
$\text{TiO}_2$	0,65	
MnO	0,20	

On ne peut, de toutes manières, supposer des teneurs en fer et en magnésium aussi élevées dans un verre volcanique. Le bilan de la chloritisation est donc une désilicification générale produisant une forte augmentation relative du potentiel fémique.





Cette altération peut avoir plusieurs causes :

- \* le métamorphisme alpin qui a pu transformer les verres volcaniques en chlorites,
- \* l'altération s'est produite au contact avec l'eau de mer, lors de la mise en place des laves.

La présence de plagioclases albitisés dans certaines andésites (G. Vitally, 1980) militerait en faveur de la première hypothèse. Mais ceux-ci sont, apparemment, très rares car nous n'en avons pas retrouvés.

D'autre part, les minéraux fémiques ainsi que les microcristaux de plagioclase ne sont pas affectés par un quelconque métamorphisme.

A propos de la seconde hypothèse, les travaux récents sur l'altération sous-marine des verres volcaniques (Y. Noack, 1981) ont montré que, lors de la mise en place des laves, lorsque la température est élevée le verre volcanique s'appauvrit en K et s'enrichit en Mg. Toutefois, nous n'avons pas rencontré, en plaque mince, de paragenèse minéralogique de type zéolite + palagonite (Y. Noack, 1980) ou de type chlorophaéite - palagonite (K.R. Stokes et coll. 1971).

Il est probable que le métamorphisme alpin ait transformé un ancien verre palagonitique en chlorite.

On pourrait ainsi envisager la palagonitisation du verre volcanique lors de la mise en place sous-marine des laves. Ce verre palagonitique, déjà appauvri en silice aurait subi un enrichissement en fer et magnésium. L'action du métamorphisme alpin sur cette palagonite aurait alors provoqué la chloritisation qui se serait accompagnée d'une perte de silice importante amplifiant les teneurs déjà fortes en Mg et Fe.

Il s'agit d'une hypothèse que nous retiendrons en l'absence d'investigations plus poussées.

#### B 1-4) Conclusions à l'étude des éléments majeurs.

L'intense altération des roches du synclinal de Thônes et de celles de l'Arbaron rend difficile une étude géochimique précise.

Les données de la Pétrographie et celles de la Minéralogie sont plus faciles à interpréter. Les roches de la Province Helvético-Savoyarde sont, selon toute vraisemblance, d'anciennes andésites métamorphisées.

L'association de termes riches en K avec des termes moyennement potassiques est suggérée au vu des analyses chimiques et du diagramme  $K_2O - SiO_2$  (Fig.170). Mais on ne peut conclure, faute d'échantillons suffisamment frais comme ils le sont dans le cas des provinces méridionales.

#### B 2) APERÇU GEOCHIMIQUE SUR LES ELEMENTS EN TRACES.

Nous ne disposons que de très peu d'analyses des éléments en traces. Il était, en effet, difficile d'entreprendre une campagne géochimique sur des roches aussi altérées.

Le Baryum varie de 330 à 1845ppm, le Rb varie de 25 à 65ppm, Ni est stable de 22 à 35ppm, le Co varie de 20 à 46ppm, le Cr de 5 à 70ppm, le taux de Vanadium varie de 168 à 385ppm et, enfin, le Sr de 385 à 820ppm.

Ces données sont beaucoup trop peu nombreuses pour que l'on puisse en tirer une interprétation précise.

On peut, cependant, remarquer la relative abondance du Vanadium corrélée au taux de Titane ( $TiO_2$  compris entre 0,50 et 1,07) qui confirme le caractère andésitique basique des roches étudiées.



### C) PETROGENESE DES MANIFESTATIONS VOLCANIQUES ET PLUTONIQUES PALEOGENES DES ALPES OCCIDENTALES.

Avant d'entamer l'exposé des conditions pétrogénétiques qui ont contrôlé l'évolution du magmatisme péri-alpin occidental, il est nécessaire de rappeler les principaux caractères des différentes manifestations.

Nous insisterons surtout sur les laves des provinces méridionales car, nous l'avons montré, elles sont généralement saines alors que les laves des provinces septentrionales sont très altérées.

#### C 1) PETROGENESE DES MANIFESTATIONS CALCO-ALCALINES DU MAGMATISME PALEOGENE DES PROVINCES LIGURO-PROVENÇALE ET SUB-ALPINE MERIDIONALE.

- Les andésites et roches associées que nous avons étudiées montrent de nombreuses affinités avec les roches des séries calco-alcalines mondiales,
  - \* du point de vue pétrographique et minéralogique
- Les roches intermédiaires (andésites et andésites basiques) sont abondantes, très porphyriques et montrent, le plus souvent, des caractères de cumulats plagioclasiques.
  - \* Du point de vue géochimique (la composition des roches étudiées est très proche de celle des andésites mondiales et roches associées). Les teneurs en éléments de transition sont faibles.
- En revanche, la série liguro-provençale et la province sub-alpine méridionale montrent certaines originalités qui les distinguent des autres séries mondiales :
  - \* Absence d'ignimbrites.
  - \* Association, dans le district ligure et la province sub-alpine méridionale, de termes riches en K et de termes moyennement potassiques.
  - \* Absence de zonation magmatique par rapport à la chaîne alpine tout au moins en ce qui concerne l'indice d'alcalinité.

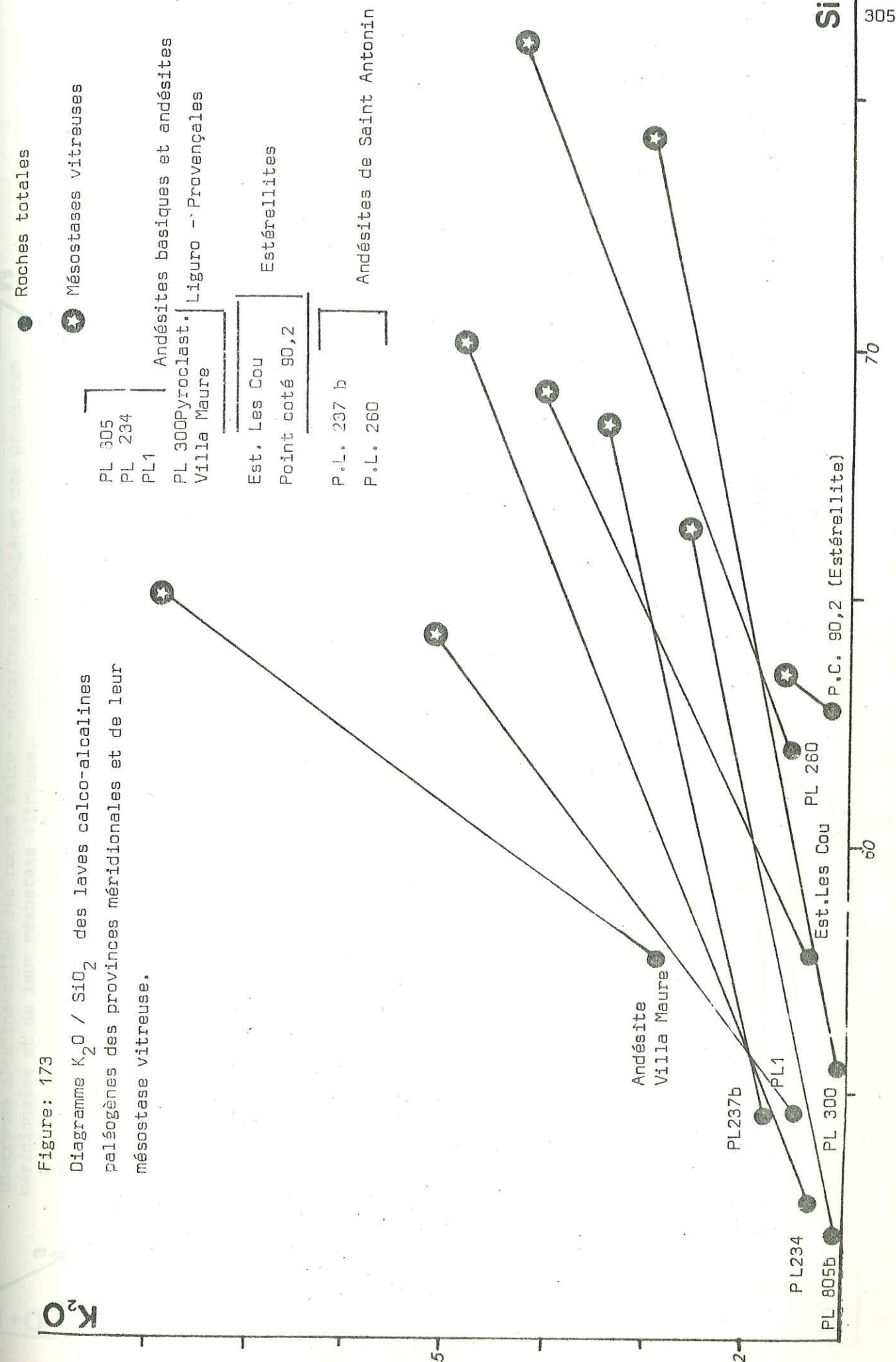




Figure: 174

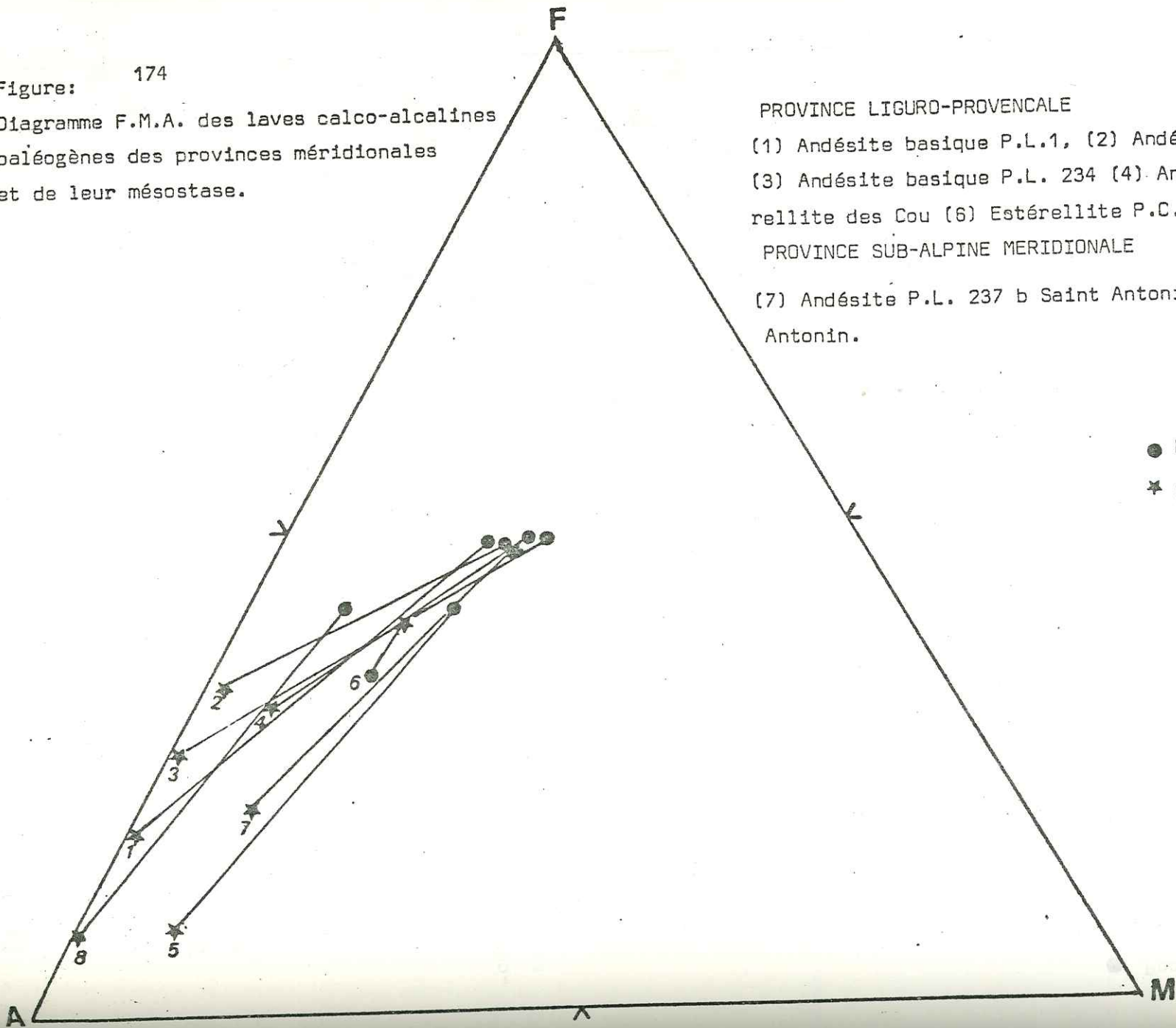
Diagramme F.M.A. des laves calco-alcalines paléogènes des provinces méridionales et de leur mésostase.

PROVINCE LIGURO-PROVENCALE

(1) Andésite basique P.L.1, (2) Andésite basique vésiculée PL805b.  
(3) Andésite basique P.L. 234 (4) Andésite Villa Maure (5) Estérellite des Cou (6) Estérellite P.C. 90,2

PROVINCE SUB-ALPINE MERIDIONALE

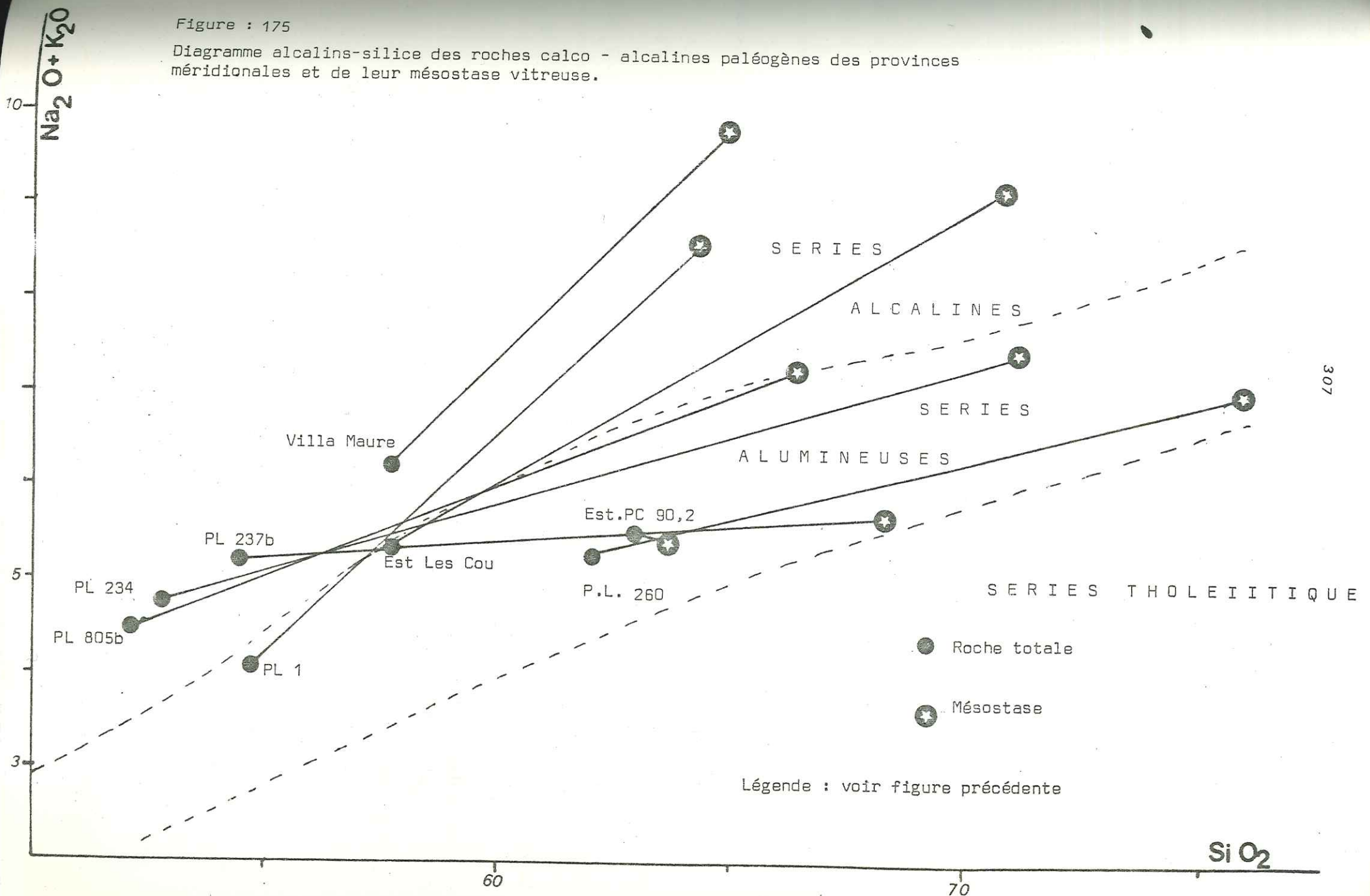
(7) Andésite P.L. 237 b Saint Antonin (8) Andésite P.L.260 Saint Antonin.



306

Figure : 175

Diagramme alcalins-silice des roches calco - alcalines paléogènes des provinces méridionales et de leur mésostase vitreuse.



307



### C 1-1) Différenciation de la série liguro-provençale : position de la série sub-alpine méridionale.

L'étude pétrographique, minéralogique et géochimique laisse supposer que les roches volcaniques et sub-volcaniques de la Province Liguro-Provençale sont liées entre elles par un processus de cristallisation fractionnée.

En ce qui concerne la Province Sub-Alpine Méridionale, la différenciation est moins nette. On dispose, en effet, d'un ensemble de roches sans variation pétrographique sensible ni paragenèses minéralogiques variées.

#### 1-1a) La cristallisation fractionnée : mise en évidence et modalités.

##### 1-1 a1) Mésostases et roches totales.

Nous avons analysé, à la microsonde électronique, les mésostases vitreuses de quelques roches correspondant aux principaux types pétrographiques décrits. Les verres ont des compositions très hétérogènes dues, essentiellement, aux innombrables microcristallites présents dans le verre.

On peut, toutefois, remarquer que la phase vitreuse résiduelle d'un type pétrographique donné montre à peu près le même chimisme que le terme pétrographique qui le suit dans la lignée de différenciation.

EXEMPLE : le verre résiduel d'une andésite aura la composition d'une dacite et celui d'une dacite aura le chimisme d'une rhyodacite ou d'une rhyolite calco-alcaline (Fig.173, 174, 175).

Certaines roches montrent cependant des anomalies :

Leur mésostase montre des taux de silice trop élevés. Cette distorsion est liée à des silicifications tardi-magmatiques ou post-magmatiques qui affectent le verre. Ceci est, en particulier, net dans le cas des andésites de Saint-Antonin.

Nous avons comparé ce diagramme (Fig.173) à celui de C. Lefèvre pour les roches calco-alcalines du Sud Péruvien.

Le Tableau 11 permet une comparaison entre les laves que nous avons étudiées et celles du Pérou méridional.

Afin de numériser l'écart entre le taux de silice de la roche totale et celui de sa mésostase, nous proposons de calculer le rapport :

$$\frac{\text{SiO}_2 \text{ Mésostase} - \text{SiO}_2 \text{ roche totale}}{\text{SiO}_2 \text{ roche totale}}$$

Si la mésostase est silicifiée, le rapport prendra des valeurs anormalement élevées.

Le diagramme de la Figure 173 et le Tableau 11 permettent de mettre en évidence :

- \* des verres riches en potassium et, parfois même, très riches (Villa Maure),
- \* des verres pauvres en potassium, c'est le cas du verre résiduel de l'estérellite à grandes andésines du Point coté 90;2 qui est l'équivalent d'une trondjémite (microdiorite quartzique holoplagioclasiq).

On observe, au niveau des verres volcaniques, la bimodalité que l'on avait déjà remarquée au niveau des éléments majeurs des roches totales.

#### 1-1 a2) Evolution des éléments majeurs lors de la différenciation.

Dans le chapitre consacré à la Géochimie, nous avons décrit les variations des éléments chimiques en fonction de l'indice de solidification de H. Kuno (1968)(Fig.147, p. 260).

La diminution régulière de  $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}$  est corrélée, de même que celle de V et Ti à la précipitation précoce des oxydes de Fer titanés.

Le magnésium montre une décroissance régulière en fonction de la différenciation, ceci en raison du fractionnement des fémiques.

L'aluminium et le calcium diminuent lors de la différenciation en raison du fractionnement des plagioclases.

L'augmentation du taux de potassium est due à l'absence de fractionnement (sauf très peu, dans l'estérellite) de la biotite.



Le Tableau 12 permet de résumer l'ensemble de nos observations aussi bien pétrographiques que minéralogiques et géochimiques.

Il ne nous a pas été possible de tenter une numérisation de la cristallisation fractionnée par une méthode mathématique comme celle des moindres carrés (T.L. Wright et P.C. Doherty, 1970).

La presque totalité des roches que nous avons étudiées proviennent de blocs emballés dans des nuées ardentes. Elles sont mal "calées" sur un ensemble géologique repérable. Une telle méthode ne peut alors être appliquée (C. Lefèvre, 1979).

1-1b) Le problème des enclaves homoéogènes grenues :  
recherche du magma parental.

Dans un certain nombre de séries calco-alcalines ont été décrites des enclaves grenues gabbro-dioritiques en particulier au Japon (K. Aoki, H. Kuno, 1972)(H. Fujimaki, 1982), aux petites Antilles (A. Lacroix, 1949) (L.R. Wager, 1962), en Grèce (J. Bébien, 1980) ou en Sardaigne (C. Coulon, 1977).

Selon F. Lewis (1973) elles représentent le résultat de la cristallisation de magmas dans des conditions de Pression et de Température différentes de celles des émissions superficielles.

Les enclaves gabbroïques que nous avons prélevées dans les andésites et les estérellites représentent, selon toute vraisemblance, des équivalents grenus de basaltes qui pourraient être à l'origine de la lignée calco-alcaline Liguro-Provençale (J-D. Giraud, 1983).

Les minéraux contenus dans les enclaves ont des compositions différentes de celles des roches hôtes, en particulier les clinopyroxènes qui ont des taux de calcium faibles. Les plagioclases ne sont pas zonés contrairement à ceux des roches hôtes. Les teneurs en éléments majeurs apparentent ces roches à des gabbros alumineux tels que ceux qui ont récemment été étudiés dans le massif de l'Adamello (C. Dupuy et coll. 1982) (Tableau 13).

Dans tous les diagrammes que nous avons utilisés ces roches se placent à la base de la série liguro-provençale. Nous en concluons qu'elles représentent la cristallisation en profondeur d'un basalte alumineux, magma parental de la lignée calco-alcaline.

Andésite basique vacuolaire (P.L.805b)	52,10	65,00	1,07	2,66	0,247
Andésite basique à deux pyroxènes (P.L.234 id. PL20)	52,80	70,90	1,36	5,34	0,342
P.L.1 Andésite basique à olivine et 2 pyroxènes	54,60	62,83	1,51	4,13	0,150
Andésite à deux pyroxènes (La Villa Maure)	57,77	64,85	2,90	7,45	0,122
Estérellite des Cou	57,71	69,29	1,44	4,17	0,200
Andésite à hornblende P.L. 237 bis (StAntonin)	54,50	72,04	1,44	3,50	0,320
P.L.260 Andésite à hornblende (Saint Antonin)	62,10	74,30	1,60	4,44	0,196
Andésite (1) Pérou	56,00	70,00	2,00	7,40	0,25
Andésite (2) Pérou	59,00	70,00	2,80	4,60	0,24
Andésite (3) Pérou	61,00	74,00	2,30	4,20	0,21
Andésite (4) Pérou	61,50	66,00	3,10	4,00	0,073
Andésite (5) Pérou	61,00	69,00	3,50	5,30	0,13
Andésite (6) Pérou	62,50	65,00	3,80	4,50	0,04
Andésite (7) Pérou Dacite	63,00	70,00	3,50	4,50	0,11

SiO<sub>2</sub>  
roche totale

SiO<sub>2</sub>  
verre

K<sub>2</sub>O  
roche totale

K<sub>2</sub>O  
verre

SiO<sub>2</sub><sub>V</sub> - SiO<sub>2</sub><sub>Rtot</sub>

SiO<sub>2</sub> R tot

T A B L E A U : 11

Compositions comparées roches  
totales - verres pour les roches  
calco-alcalines paléogènes des  
provinces méridionales  
Comparaisons avec des andésites  
péruviennes.

Andésites (1) à (6) Pérou  
in C. Lefèvre (1979)  
Volcanisme calco-alcalin plio-quaternaire  
du Sud Péruvien.



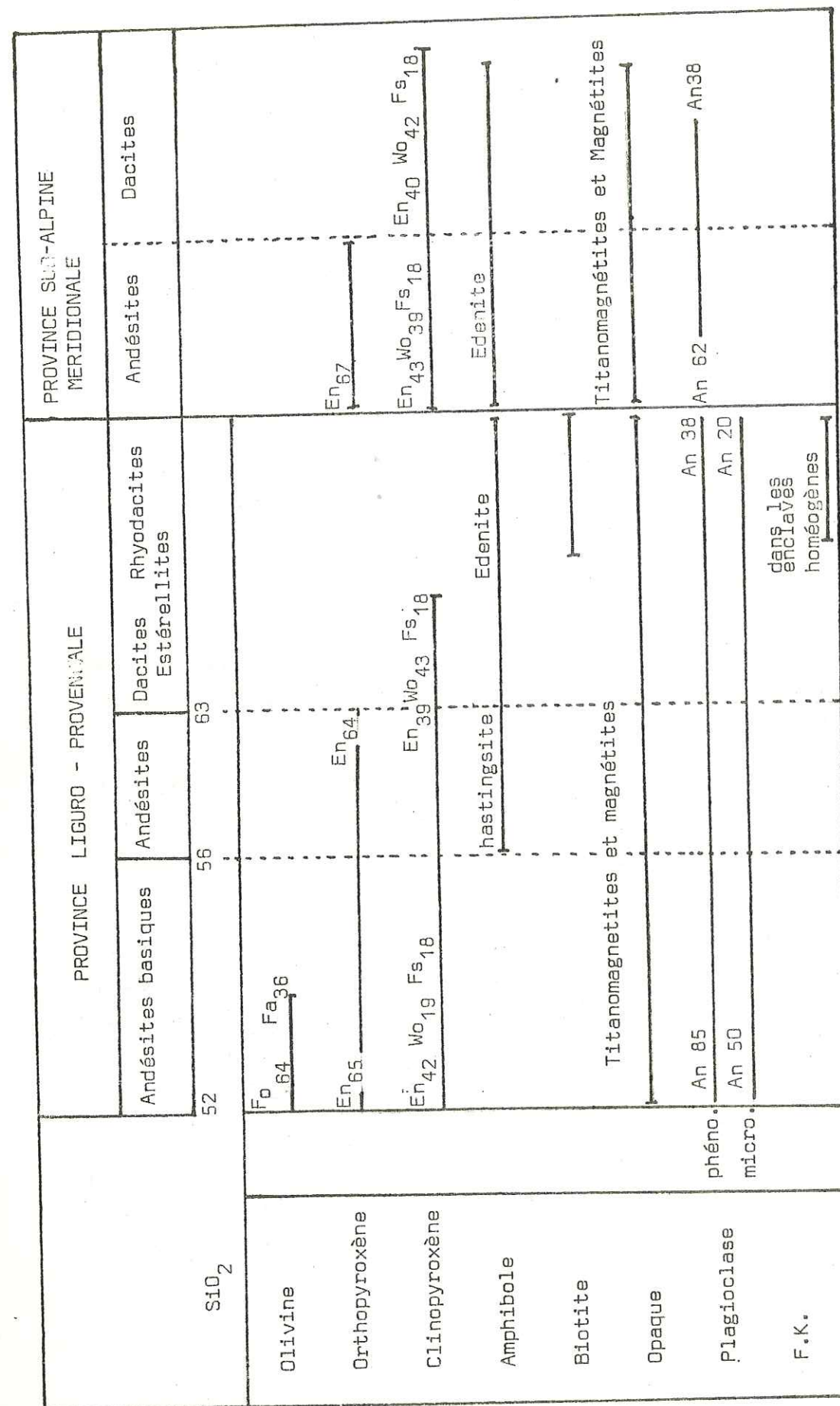


Tableau 12 Evolution des paragenèses minéralogiques en fonction de la différenciation dans les laves liguro-provençales et sub-alpines méridionales.

Ces basaltes ont pu, dans certaines conditions, subir une ségrégation gravitative légère des ferromagnésiens ce qui pourrait expliquer les valeurs peu élevées du titane. Cet élément est abondant dans les amphiboles.

On rencontre, en outre, dans l'estérellite des enclaves à hornblendes aciculaires présentant un canalicule central. La roche est formée exclusivement de plagioclases et d'amphibole (cf. p. 67). Des roches de ce type affleurent dans les massifs calco-alcalins alpinotypes péri-adriatiques. Nous en avons échantillonné dans le Massif de l'Adamello où elles affleurent en filons recoupant les gabbros et les tonalites. Des roches analogues affleurent en Corse (région de Ghisoni) dans des filons qui recoupent les granites calco-alcalins du batholite Corso-Sarde. Une étude en cours tend à préciser la signification de ces roches dans les formations calco-alcalines.

Dans les nuées ardentes du secteur de Biot (région niçoise) on trouve à la base des émissions, un niveau repère à andésites basiques très vésiculées et riches en verre volcanique.

La composition de la roche est très basique en expression roche totale (SiO<sub>2</sub> = 52,10). Il s'agit d'une composition à la limite entre les basaltes et les andésites basiques. Cette roche est la plus basique de celles dont nous ayons analysé le verre. Ce dernier montre une composition décitique. La roche est déjà trop différenciée pour être considérée comme un magma primaire.

En conclusion, les basaltes sont absents des provinces méridionales. Les termes les moins différenciés sont déjà des andésites basiques.

Il est fort probable que les enclaves gabbroïques homoégènes représentent, à l'état grenu, les liquides les moins différenciés de la série qui auraient été piégés en profondeur dans la croûte sialique.

On peut alors penser qu'à l'aplomb des zones volcaniques actuelles se trouvent des massifs plutoniques représentant l'équivalent des formations volcaniques calco-alcalines de surface.

Ce dispositif permettrait d'expliquer l'absence de basaltes dans la lignée que nous avons étudiée et montrerait la complexité du parcours intratellurique des magmas calco-alcalins.

L'existence d'enclaves homoégènes à composition de trondjémites, ainsi que la présence de diorites quartziques permet, en outre de supposer que les liquides successifs produits par le fractionnement ont pu donner soit des laves, soit de petits massifs suivant qu'ils étaient piégés en profondeur ou qu'ils arrivaient en surface.



	P.L.360	PL 329	PL 341	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
SiO <sub>2</sub>	45,20	46,28	47,70	50,58	44,72	48,08	45,39	48,51	47,95
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17,60	15,94	13,90	17,81	17,68	17,22	18,36	20,76	11,51
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,87	10,51	5,18	3,55	5,11	1,32	4,31	3,61	3,19
FeO	6,46		5,45	6,55	6,58	8,44	6,33	5,01	5,46
MgO	8,30	6,52	5,75	5,48	6,93	8,62	7,55	4,55	15,35
CaO	9,30	8,64	9,40	10,51	11,86	11,38	12,63	10,67	11,07
Na <sub>2</sub> O	3,16	3,49	3,36	2,62	2,17	2,37	1,99	3,65	1,47
K <sub>2</sub> O	0,45	trace	0,92	0,48	0,69	0,25	0,52	0,24	0,55
TiO <sub>2</sub>	2,24	3,49	4,18	1,10	2,24	1,17	1,47	0,99	0,84
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,67	2,00	0,25	0,20	0,15	0,10	0,21	0,49	0,08
MnO	0,30	0,54	0,44	0,17	0,17	0,16	0,19	1,24	0,17
H <sub>2</sub> O(+)	1,59	1,33	1,36	0,38	1,74	1,01	1,04		2,37
H <sub>2</sub> O(-)	0,04		0,07	0,54	0,27	0,05			
total:	100,18	98,74	97,95	100,00	99,31	100,17			
S.I.	35,71		27,79	29	32				
Rb		22	inf.10			1	-	3	
Ba		264	163			171	148	152	
Sr		241	333			399	610	218	
Ni		55	99			15	9	233	
Cr		126	197			26	1	1118	
V		330	223			449	250	263	
Co		82	72				22		

P.L.360, P.L.328, P.L. 341, enclaves gabbroïques dans l'estérellite

- (1) Basaltes des suites calco - alcalines (moyenne) in Lewis 1971  
 (2) Basalte alumineux type "Cuguttada" Sardaigne in C.Coulon (1977)  
 (3) High alumina basalte (bordure figée) Skaergaard (in H.Kuno 1968)  
 (4)(5) Gabbro du Monte Blumone (Adamello) in C.Dupuy et coll. (1982)  
 (6) Gabbro du Monte Mattone (Adamello) in C.Dupuy et coll. (1982)

T A B L E A U : 13 Comparaison de trois enclaves homoeogènes grenues  
 =====  
 prélevées dans l'estérellite avec des basaltes  
 alumineux et des gabbros alpinotypes du massif de l'Adamello.

# 1-1 c) La différenciation dans les provinces méridionales : essai de synthèse.

L'ensemble des données pétrologiques, minéralo-  
 giques et géochimiques nous conduisent à envisager l'existence d'une  
 lignée différenciée dans la Province Liguro-Provençale, conduisant des  
 andésites basiques à olivine et deux pyroxènes à des rhyodacites à biotite.

Les liquides andésitiques dérivent, semble-t-il, d'un magma basique de type  
 basalte alumineux dont on ne connaît que l'équivalent grenu sous forme de  
 gabbros alumineux en enclaves dans les andésites et dacites.

Certains liquides dacitiques ont pu évoluer, toujours sous le contrôle do-  
 minant de la cristallisation fractionnée, suivant deux tendances :

- \* une lignée conduisant à des rhyodacites à biotite,
- \* une lignée, piégée en profondeur, qui aurait donné des termes  
 trondjhémiques pauvres en K.

La Figure 176 résume nos conclusions et donne un schéma interprétatif de  
 la filiation pétrogénétique.

La Province Sub-Alpine Méridionale, qui montre une grande uniformité de  
 compositions chimiques et minéralogiques, est selon toute vraisemblance  
 à rattacher du point de vue magmatique à la Province Liguro-Provençale.  
 Les phénomènes de cumulation y sont plus marqués et seules les roches  
 intermédiaires y sont représentées (andésites basiques et andésites). Les  
 compositions rhyodacitiques, que l'on peut enregistrer, sont liées à des  
 phénomènes de silicification des andésites.

## 1-1 d) Les conditions physiques de la différenciation.

### 1-1 d1) Température de mise en place des laves.

Nous avons appliqué aux roches liguro-  
 provençales et sub-alpines méridionales les géothermomètres classiques,  
 à l'exception de celui de Buddington et Lindsley (1964) en raison de  
 l'absence dans les roches étudiées d'associations de type titano-magnétite  
 ilménite.

### 1-1 d1a) Le géothermomètre Olivine-Liquide.

Le géothermomètre de W.P. Leeman et  
 K.F. Scheidegger (1977) a été testé sur une andésite basique à deux py-  
 roxènes (P.L.1). Il a donné trois valeurs voisines de la température



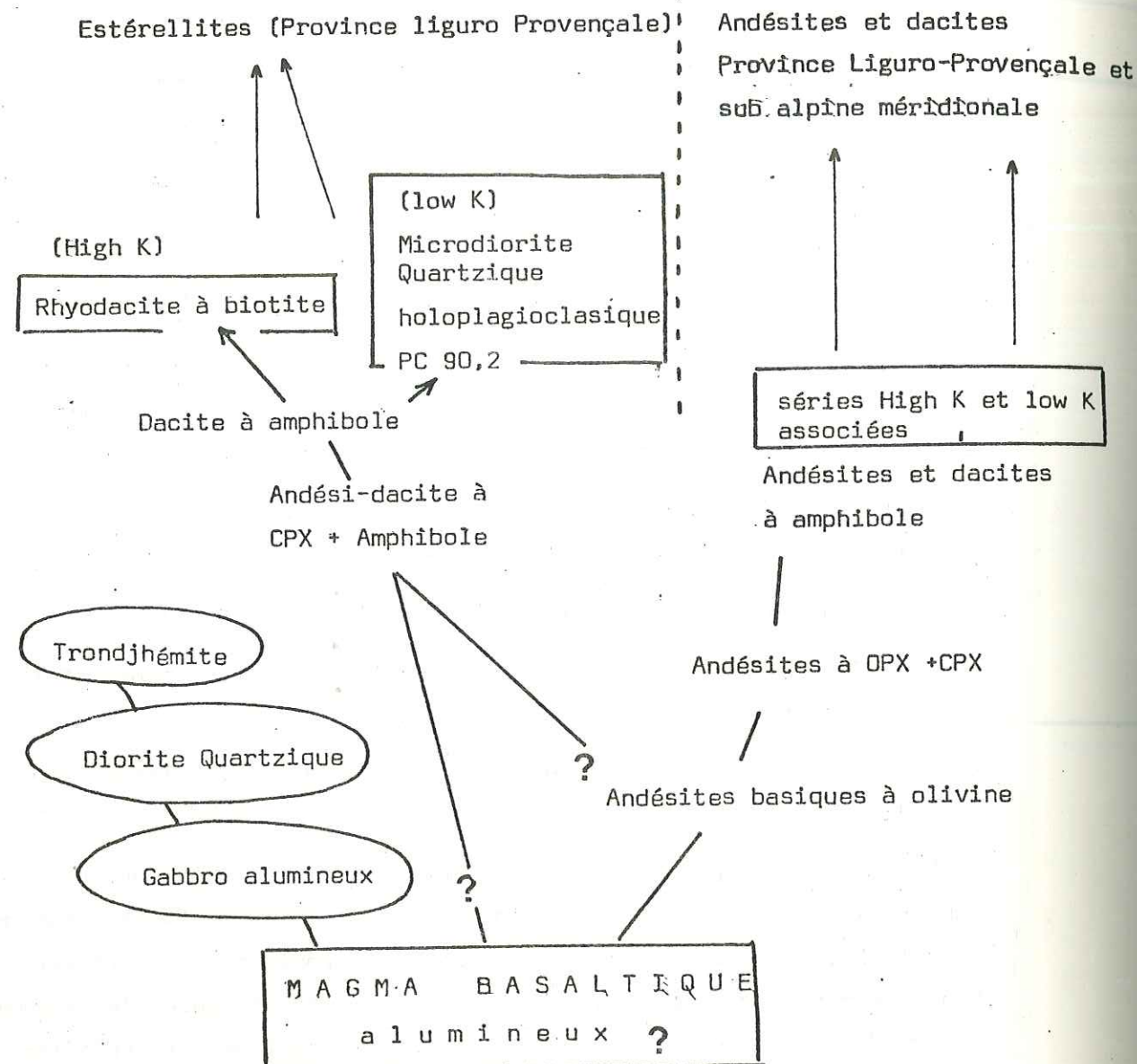


Figure 176

: Schéma interprétatif des filiations pétrogénétiques entre les différentes manifestations du magmatisme calco-alcalin paléogène des provinces méridionales.

1186°C p/r à Mn, 1129°C p/r à Fe, 1109°C p/r à Mg, soit une valeur moyenne de 1151°C pour l'équilibre de l'olivine, premier minéral ferro-magnésien apparu dans la série.

1-1 d 1b) Le géothermomètre à deux pyroxènes.

Le géothermomètre de J. Wood et S. Banno (1973) donne, dans l'andésite P.L.1 une température moyenne de 1038°C pour les pyroxènes qui cristallisent après l'olivine.

1-1 d 1c) Le géothermomètre plagioclase-verre.

Le géothermomètre de A. Kudo et D.F. Weill (1970) a donné sur la même andésite les températures de 1161°C (à sec), 1111°C à 0,5b H<sub>2</sub>O, 1070°C à 1Kb H<sub>2</sub>O et, enfin, 744°C à 5Kb H<sub>2</sub>O. Le couplage des deux géothermomètres (deux pyroxènes et plagioclase/verre) permet d'apprécier une pression d'eau au moment de la cristallisation du dernier front de croissance du plagioclase (C. Lefèvre, 1979), (C. Ghristi, 1982)  $P_{H_2O} = 1,4 \text{ Kb}$  pour  $T^{\circ}C = 1038 \pm 10$ .

La roche P.L.1 est assez exceptionnelle car elle permet la confrontation de trois géothermomètres. Ces derniers donnent des températures concordantes avec l'ordre de cristallisation.

Le Tableau 14 regroupe les données des différents géothermomètres. Elles sont comparées aux valeurs données par C. Coulon (1977), C. Lefèvre (1979) et C. Robin (1981). Les courbes de couplage ont été reportées sur les figures 177 à 181.

On remarque que si les andésites se prêtent facilement au couplage des géothermomètres, il n'en est pas de même pour les estérellites. En effet, on ne peut leur appliquer que le seul géothermomètre plagioclase/verre. On ne peut avoir sur ces roches aucune estimation de la  $P_{H_2O}$  ce qui rend le géothermomètre inopérant. Nous proposons un moyen nouveau susceptible d'approcher l'évaluation de la  $P_{H_2O}$  dans le cas de telles roches.

1-1 d 1-d) Le géothermomètre utilisant le zircon et son couplage avec le géothermomètre plagioclase/verre.

J.P. Pupin (1972) propose une utilisation du zircon accessoire en géothermométrie (Fig.182).



Figure : 177

Couplage du géothermomètre OPX-CPX avec le  
géothermomètre Plagioclase/verre

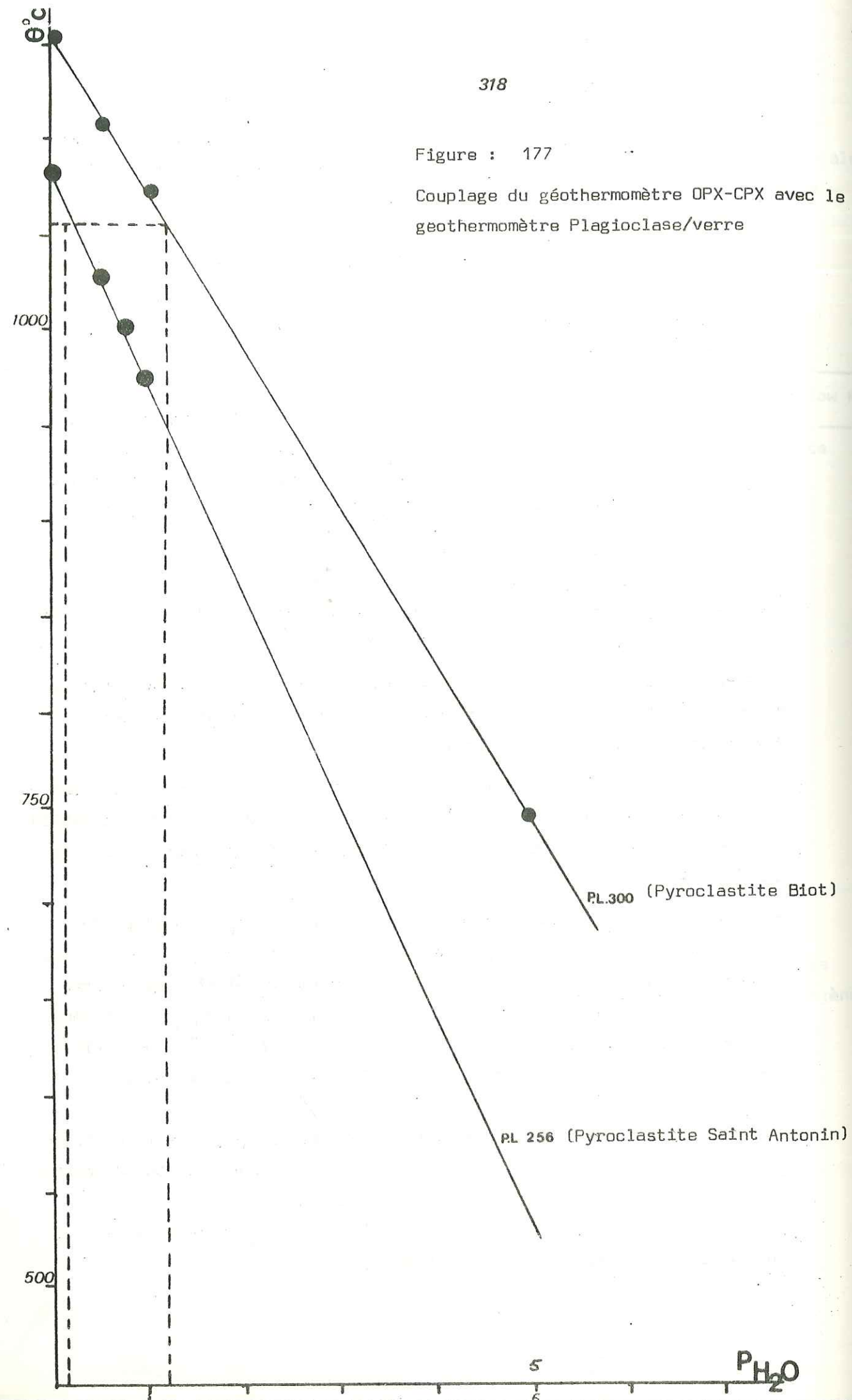


Figure: 178

Couplage du géothermomètre OPX/CPX et du géothermomètre  
Plagioclase / Verre

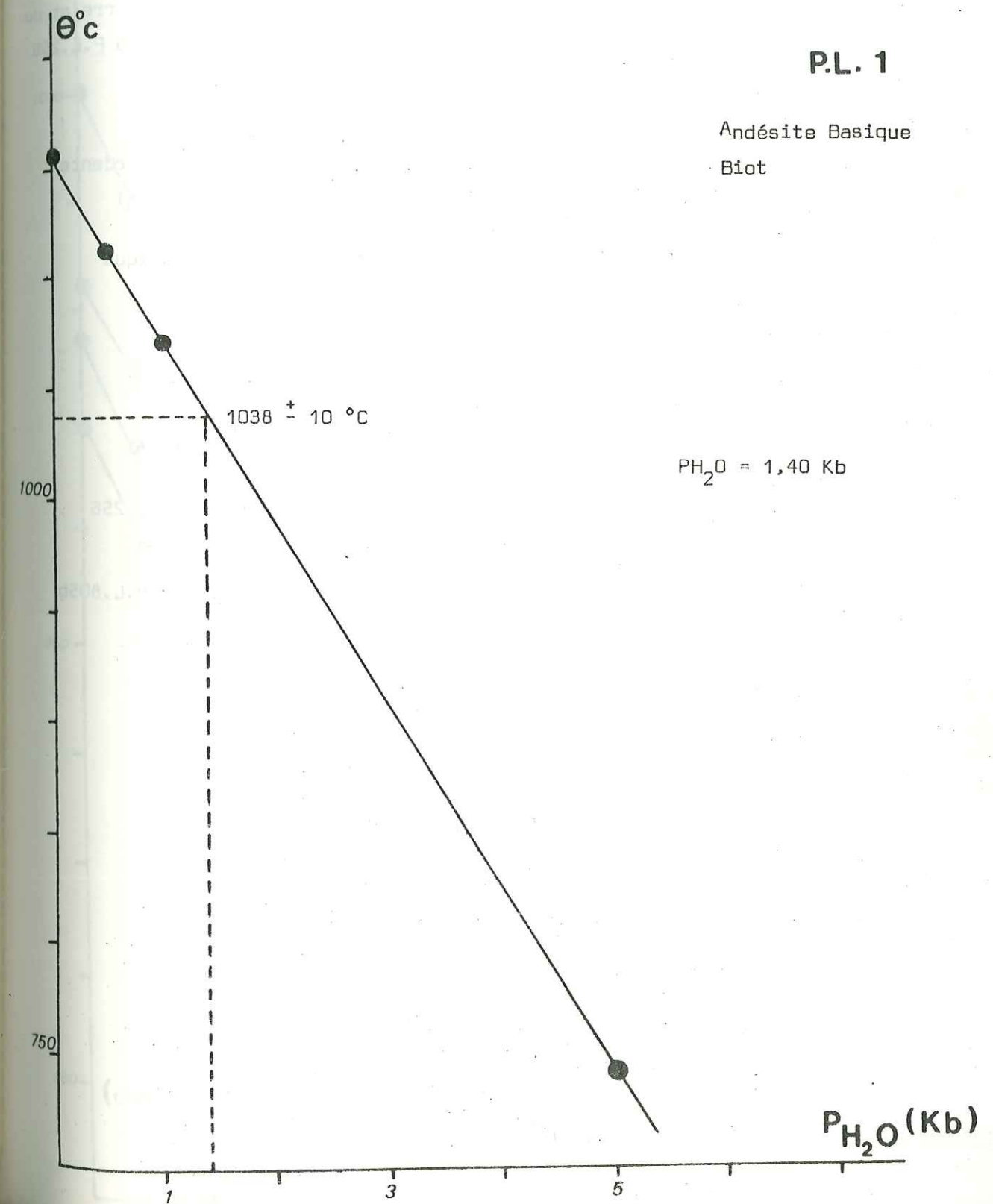




Figure: 179

Couplage du géothermomètre OPX/CPX et du  
géothermomètre plagioclase /Verre dans

Couplage du géothermomètre Plagioclase /verre et du  
géothermomètre zircon dans la pyroclastite P.L.256

P.L. 256 Matrice de nuée ardente  
andésitique (Saint Antonin)

P.L. 805b : andésite basique  
Biot.

Pyroclastite P.L. 256

2,15  $P_{H_2O}$  3,55 Kb

Andésite basique P.L.805b

$P_{H_2O} = 1,8Kb$

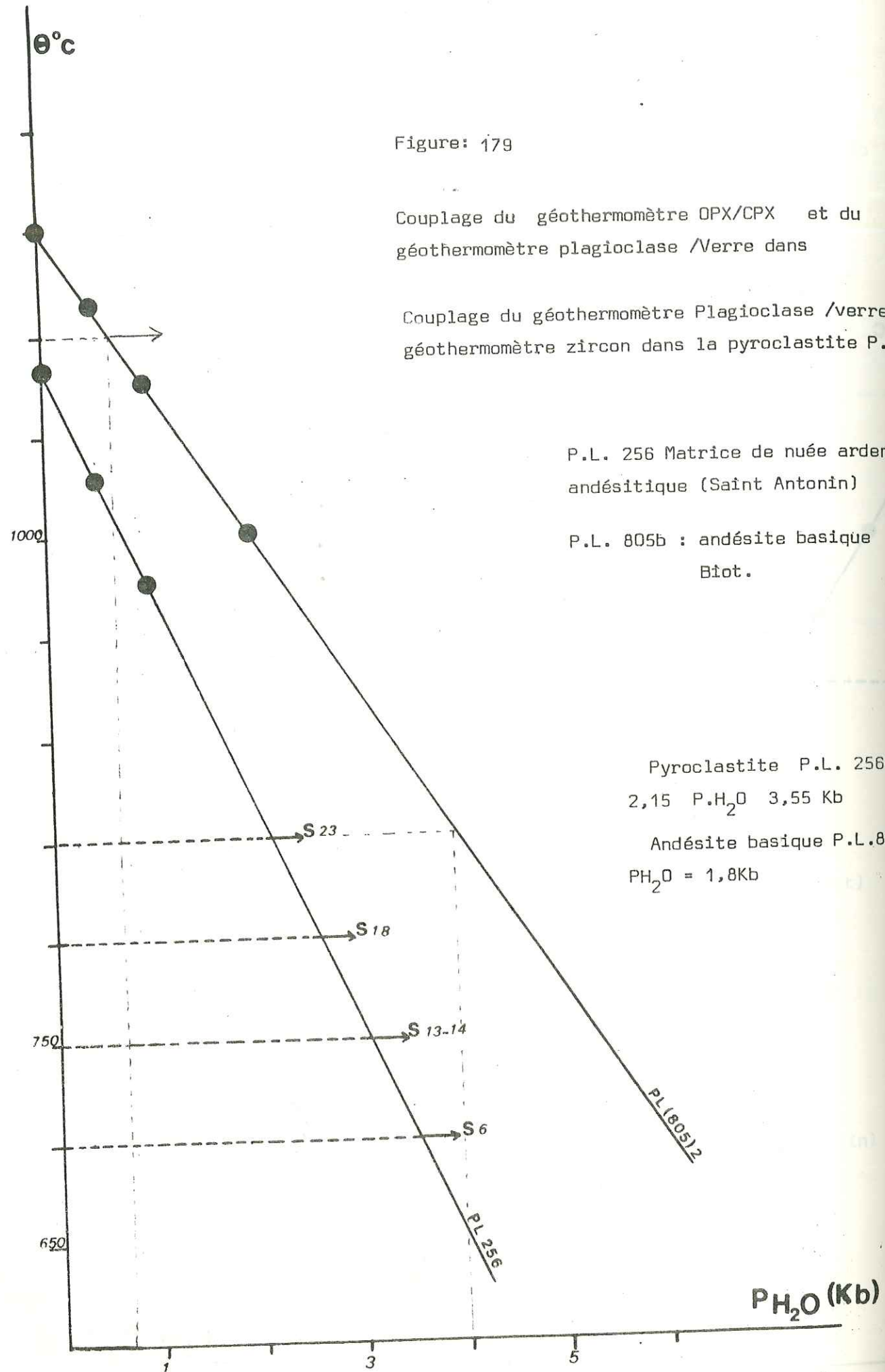


Figure: 180

Droites de régression  $T^{\circ}C = f. (P_{H_2O})$  d'après les  
données des calculs des géothermomètres plagioclases/verre

P.L. 805b andésite basique

P.L.1 Andésite basique

Estérellite des Cou

PROVINCE LIGURO-PROVENCALE Estérellite du Drammont

PROVINCE SUB-ALPINE  
MERIDIONALE

P.L. 237 b Saint Antonin

P.L. 260 Saint Antonin  
(Andésites)

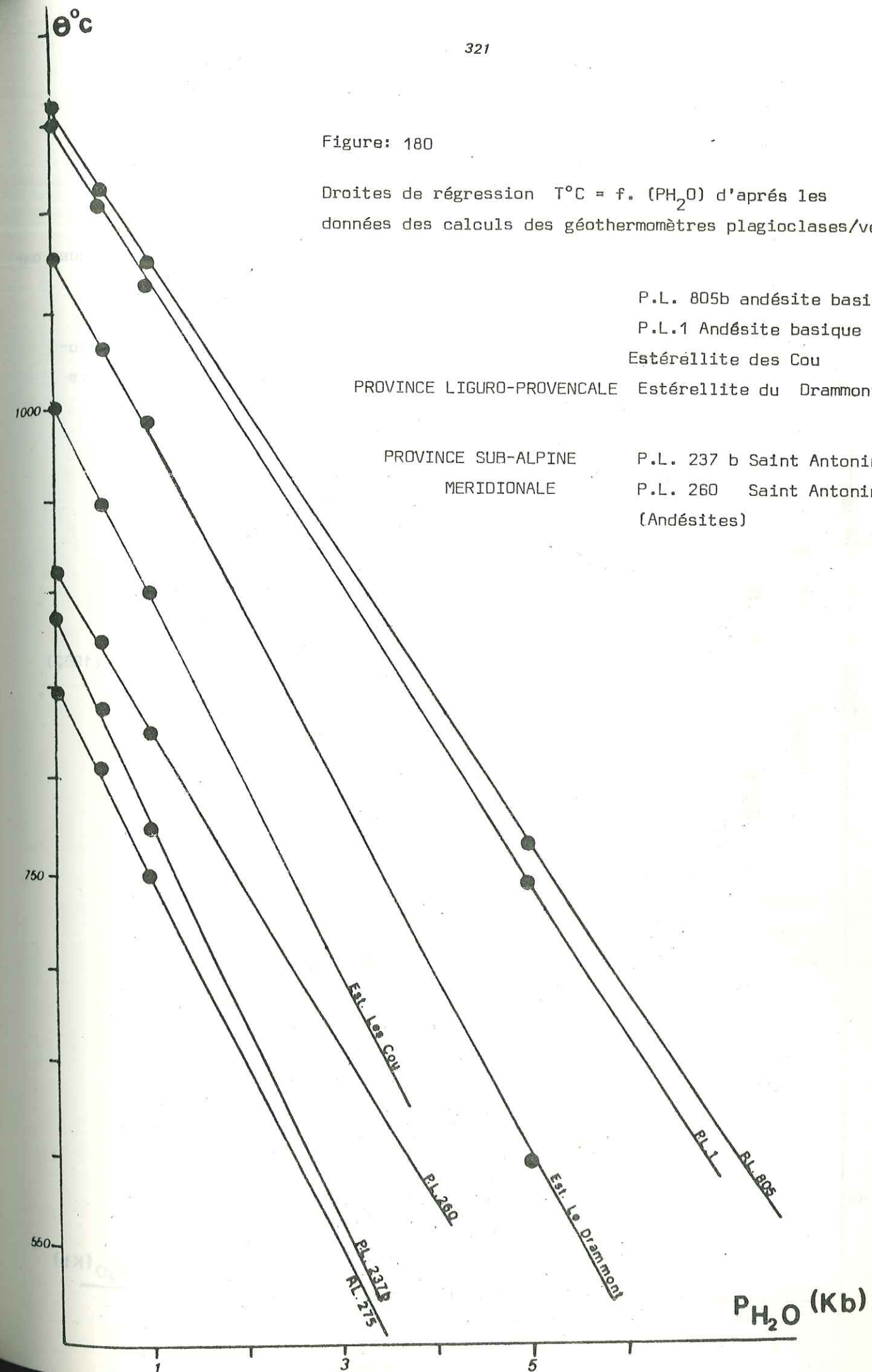
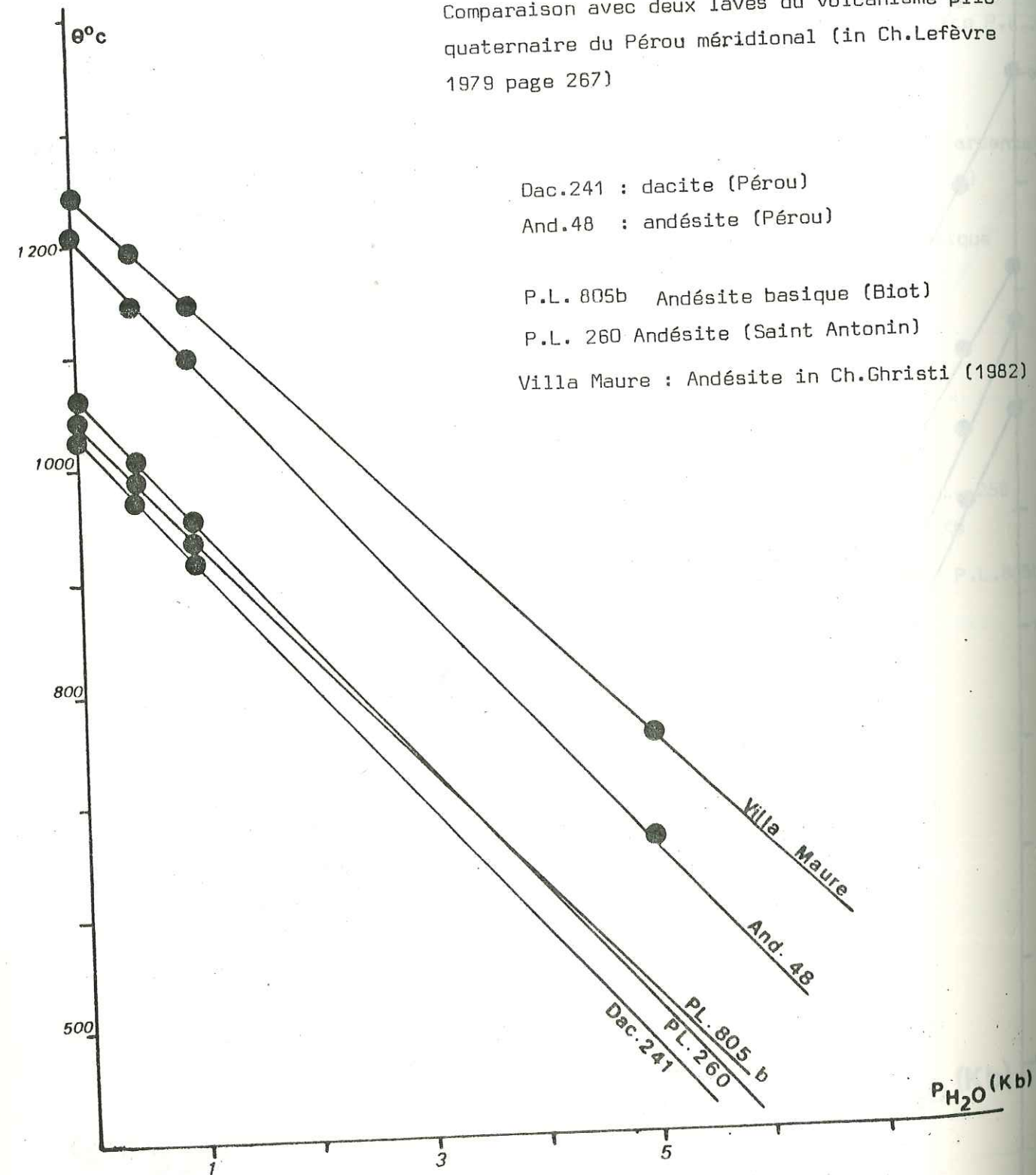




Figure: 181

Courbes de  
variation  $T^{\circ}\text{C} = f.P_{\text{H}_2\text{O}}$  pour les valeurs obtenues par  
calcul du géothermomètre plagioclase/verre.

Comparaison avec deux laves du volcanisme plio-  
quaternaire du Pérou méridional (in Ch.Lefèvre  
1979 page 267)



Dac.241 : dacite (Pérou)  
And.48 : andésite (Pérou)

P.L. 805b Andésite basique (Biot)  
P.L. 260 Andésite (Saint Antonin)  
Villa Maure : Andésite in Ch.Ghristi (1982)

Les types à fort indice T caractérisent des températures élevées et la  
température décroît avec ce même indice. Nous avons reporté, ci-dessous,  
l'échelle géothermométrique proposée par cet auteur.

TEMPÉRATURE = 20°C.	DEVELOPPEMENT RELATIF DES PRISMES	EXEMPLES DE TYPES ET SOUS-TYPES (D'APRES CLASSIFICATION J.P. PUPIN, G. TURCO, 1971)
1200° 900°	(100) seul	
850°	(100) > (110)	
800°	(100) > (110)	
750°	(100) = (110)	
700°	(100) < (110)	
650°	(100) << (110)	
600°	110 seul	
550° 500°	0 PRISME	

Certains caractères morphologiques du zircon  
sont sensibles à la pression d' $\text{H}_2\text{O}$  dans les  
magmas (J.P. Pupin et coll. 1978). Ces carac-  
tères (fort développement du prisme 110, faible  
indice T) ont été rencontrés dans certaines  
estérellites (J-D. Giraud et coll. 1980).

Nous avons tenté, par le couplage du géother-  
momètre plagioclase/verre d'estimer les pres-  
sions d' $\text{H}_2\text{O}$  dans les roches où ne peut être  
calculé le géothermomètre à deux pyroxènes.

Nous avons obtenu avec l'andésite P.L.260 de  
Saint-Antonin la valeur de  $P_{\text{H}_2\text{O}} = 2,40$  qui  
correspond à une valeur proche de celle obtenue  
dans les andésites liguro-provençales par le  
couplage des deux géothermomètres plagioclase/  
verre et orthopyroxène/clinopyroxène.

Les courbes de couplage ont été reportées  
(Fig.183). Cette méthode appliquée aux esté-  
rellites laisse apparaître des valeurs élevées  
de  $P_{\text{H}_2\text{O}}$  qui sont compatibles avec ce que l'on  
connaît de la minéralogie de ces roches (abon-  
dance de l'amphibole, présence de biptite).

Les courbes de couplage ont été reportées dans  
les Figures 183 à 186.

Figure 182.

Les valeurs obtenues sur les andésites concordent avec celles que C. Le-  
fèvre a obtenues par couplage des géothermomètres plagioclase/verre et  
ortho-pyroxène/clinopyroxène sur des andésites et andésites basiques du  
Pérou méridional ( $P_{\text{H}_2\text{O}}$  comprises entre 1,6 et 3,3 Kb).

Les données sur les pressions partielles d' $\text{H}_2\text{O}$  dans les roches naturelles  
sont rares.



Géothermomètre	PL.1	P.L.805	P.L.20	Villa Maure	Estér. les Cou	Estér. P. Levée	Estér. Le Drammont	PL237	PL260
Olivine/verre									
InMn	1185°C								
InDFe	1129°C								
InDMg	1109°C								
T°C moyenne	1151°								
OPX - CPX	1038-10°C	1058 ± 7°C	1010 ± 10°C	980°C					
Plagio/verre	sec 0,5 1 5Kb	1152°C 1104°C 1066°C 766°C	1269°C 1211°C 1167°C 813°C	1246°C 1187°C 1144°C 801°C	1001°C 948°C 902°C	845°C 812°C 750°C	1041°C 1028°C 983°C	856°C 817°C 750°C	909°C 872°C 820°C
PH <sub>2</sub> O par couplage	1,4Kb	1,10Kb	2,7Kb	2,6Kb					
OPX-CPX/P Plagio-Verre									
par couplage Plagio-verre/zircon		1Kb-3,5Kb			4 Kb	2,15Kb	3,78Kb		2,4 Kb

La température de 1049°C a été obtenue sur l'enclave basique (gabbro) P.L. 341 par la méthode du géothermomètre à 1 pyroxène

T A B L E A U : 14

=====

Températures de cristallisation obtenues sur les roches calco-alcalines paléogènes des provinces méridionales. Pressions estimées par couplage de géothermomètres.

Dans les magmas andésitiques, les études de la pétrologie expérimentale donnent  $P_{H_2O}$  inférieure ou égale à 4Kb pour  $T = 950^\circ C$  (D.H. Eggler, 1972), (D.H. Eggler et C.W. Burnham, 1973), (T.H. Green, 1972).

Ces valeurs sont comparables à celles que nous avons obtenues sur les laves étudiées et concordent avec les estimations de M. Weibel (1978) sur les laves de Coropuna ( $P_{H_2O}$  inf. Pression totale comprise entre 2,5 et 4Kb).

1-1 d2) Pression partielle d'oxygène déduite de l'équilibre olivine/verre. (Fig.187).

Nous avons utilisé la construction de G. Will et G. Nover (1979) basée sur la valeur du coefficient de distribution  $K_D$  du magnésium et du fer dans l'olivine.

Les trois calculs donnent, successivement, pour  $K_D$  les valeurs de 1,014, 1,006, 1,002. La pression partielle d'oxygène a été calculée d'après la construction de la Figure 187.

Cette valeur est proche de la pression d'oxygène obtenue par une olivine dans une roche métamorphique des Alpes du Bergell (G. Will et G. Nover, 1979). Elle est, en revanche, inférieure à celle obtenue dans un ejecta du Nyiragongo).

1-1 d3) Le rôle de l'eau dans la différenciation.

Il n'a pas été possible d'appliquer les diagrammes se référant au système expérimental Qz-Ab-Or-An- $H_2O$  étudié par I.S.E. Carmichael (1963), H. von Platen (1965), R.S. James et D.C. Hamilton (1969), H.G.F. Winkler (1975) car nous ne disposons pas de roches suffisamment différenciées à mésostase vitreuse. En effet, les diagrammes de ce type ne peuvent s'appliquer qu'à des roches pour lesquelles la somme  $Q+Or+Ab+An$  est élevée (S comprise entre 85 et 97%). L'utilisation de tels diagrammes dans le cas de roches andésitiques ou dacitiques provoque des aberrations au niveau des alignements entre les points figuratifs des plagioclases, roches totales et mésostases. Nous conserverons donc comme seules significatives les estimations de  $P_{H_2O}$  fournies par les couplages de géothermomètres (plagioclase/verre OPX-CPX et plagioclase verre/zircon).



Figure : 183

Couplage du géothermomètre zircon et du géothermomètre Plagioclase / Verre

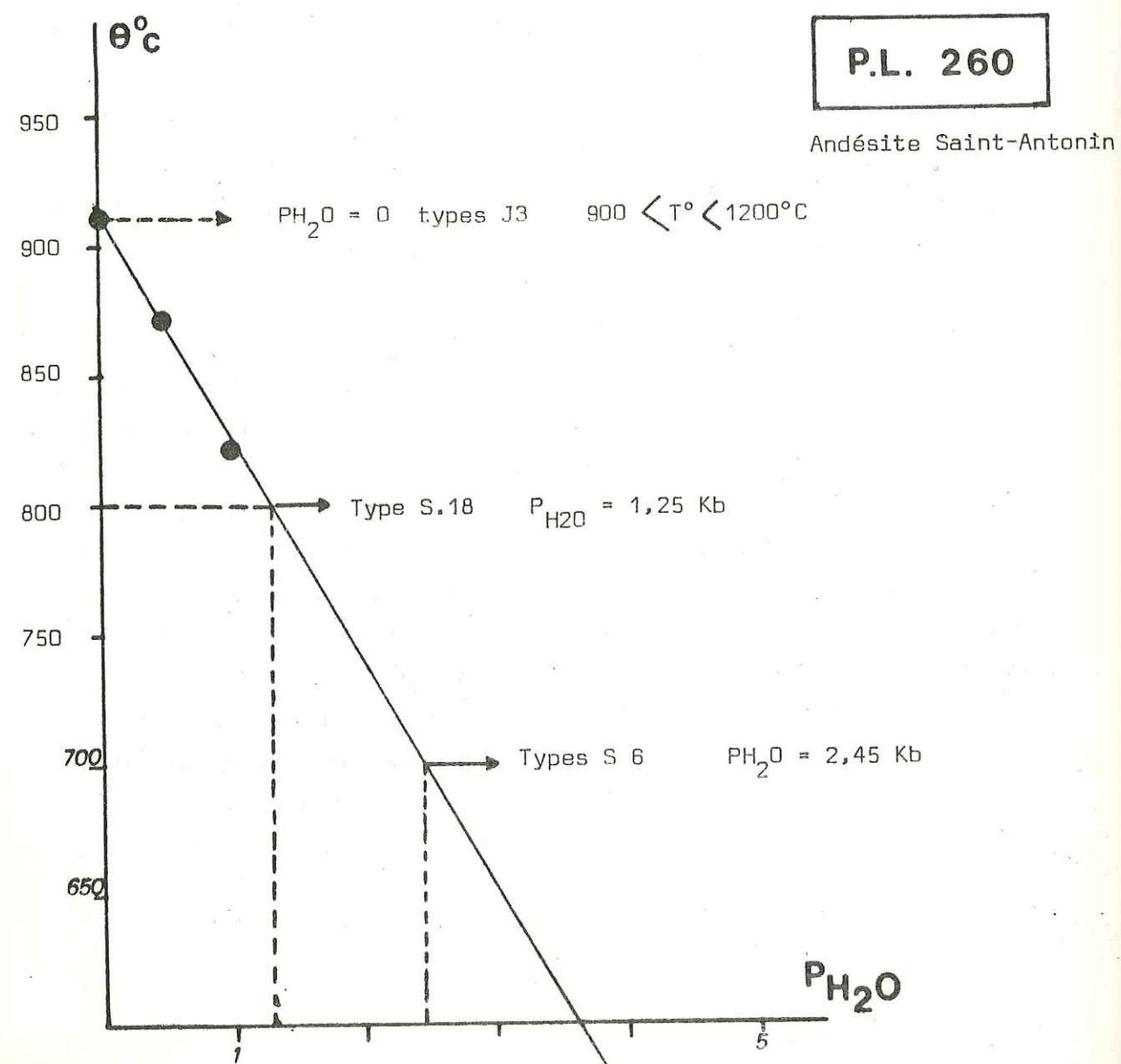


Figure: 184

Couplage du géothermomètre Plagioclase verre et du géothermomètre zircon.

**P.L. 341**

Estérellite du Drammont

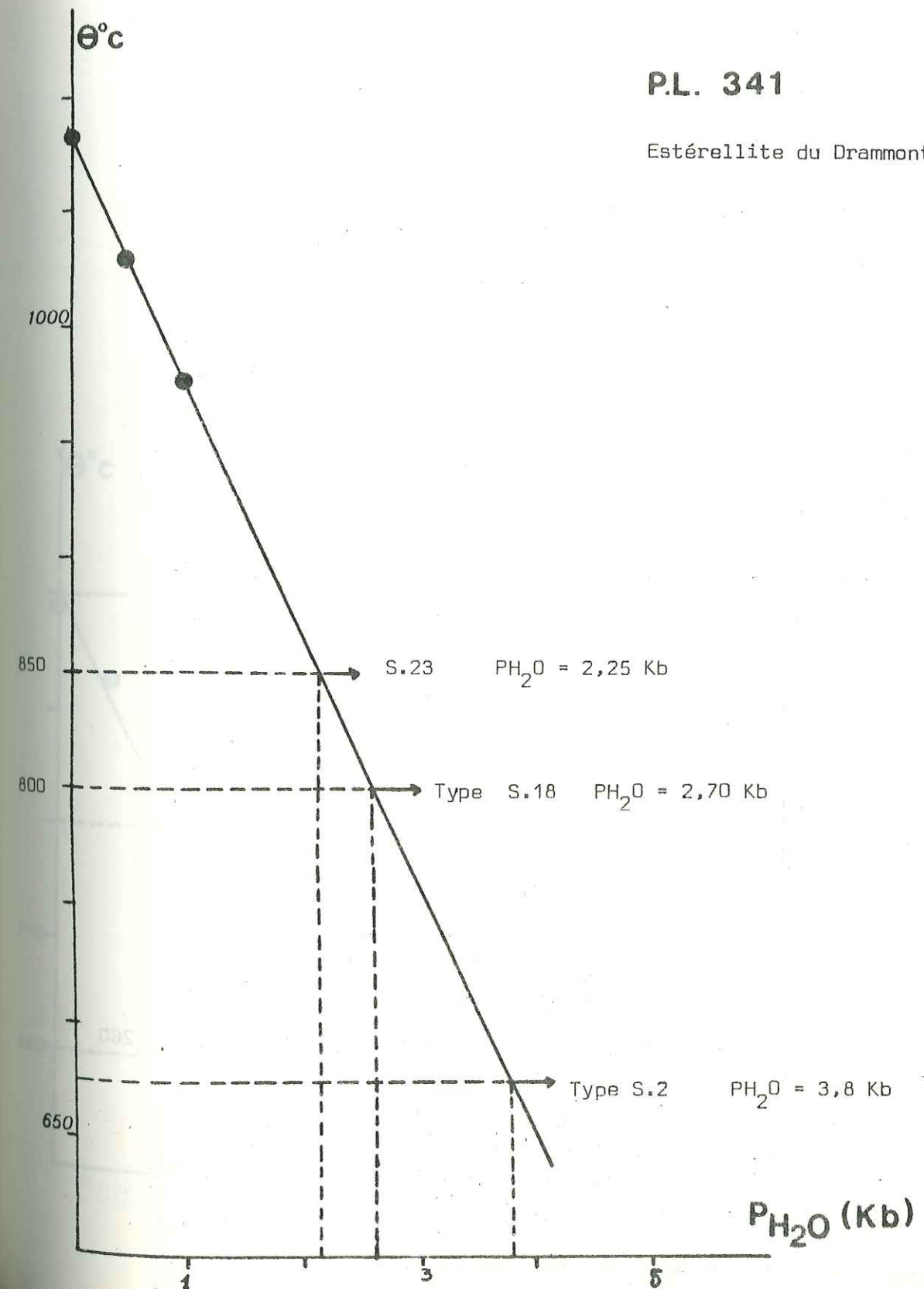




Figure : 185

Couplage du géothermomètre Plagioclase/ Verre et du géothermomètre zircon.

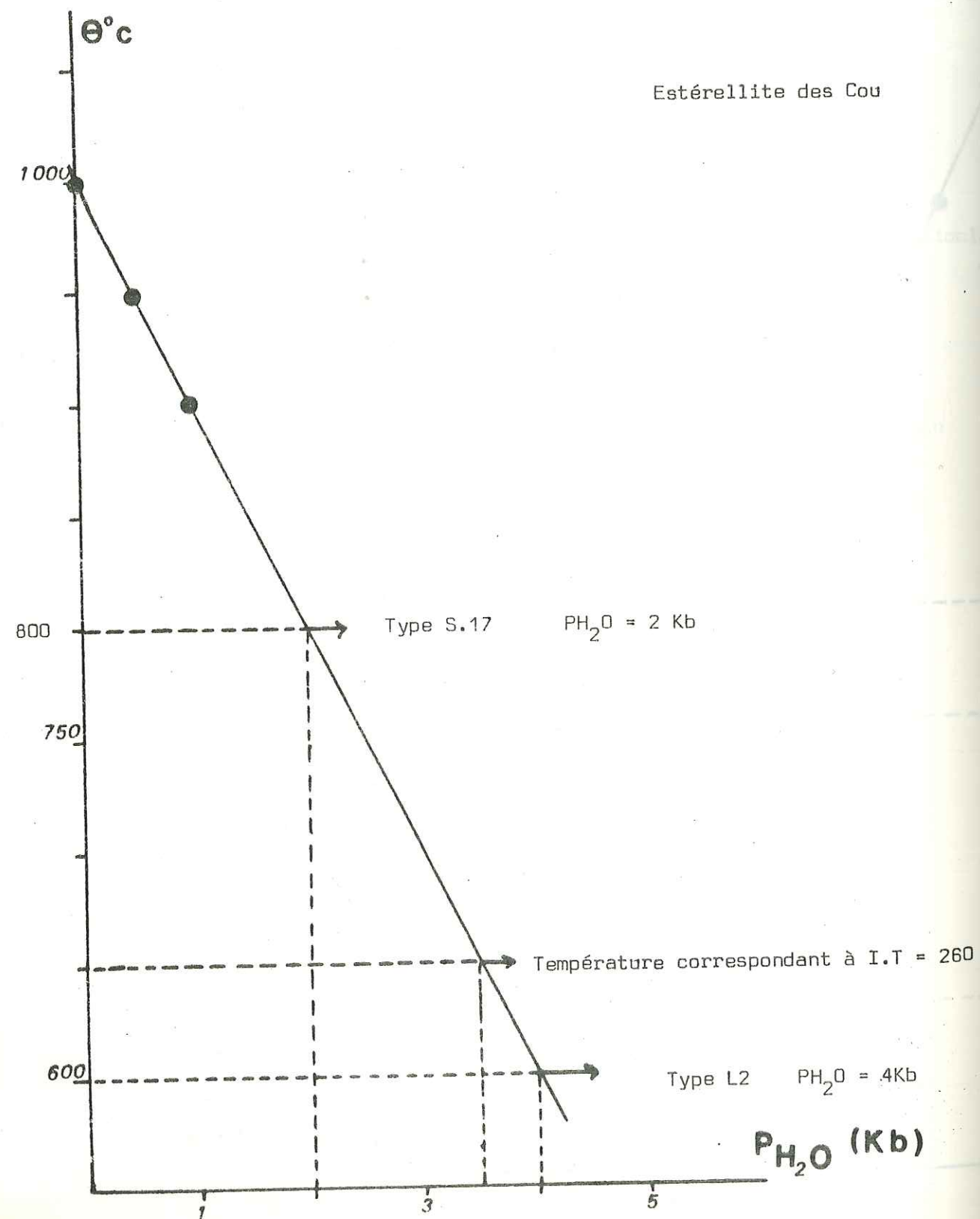
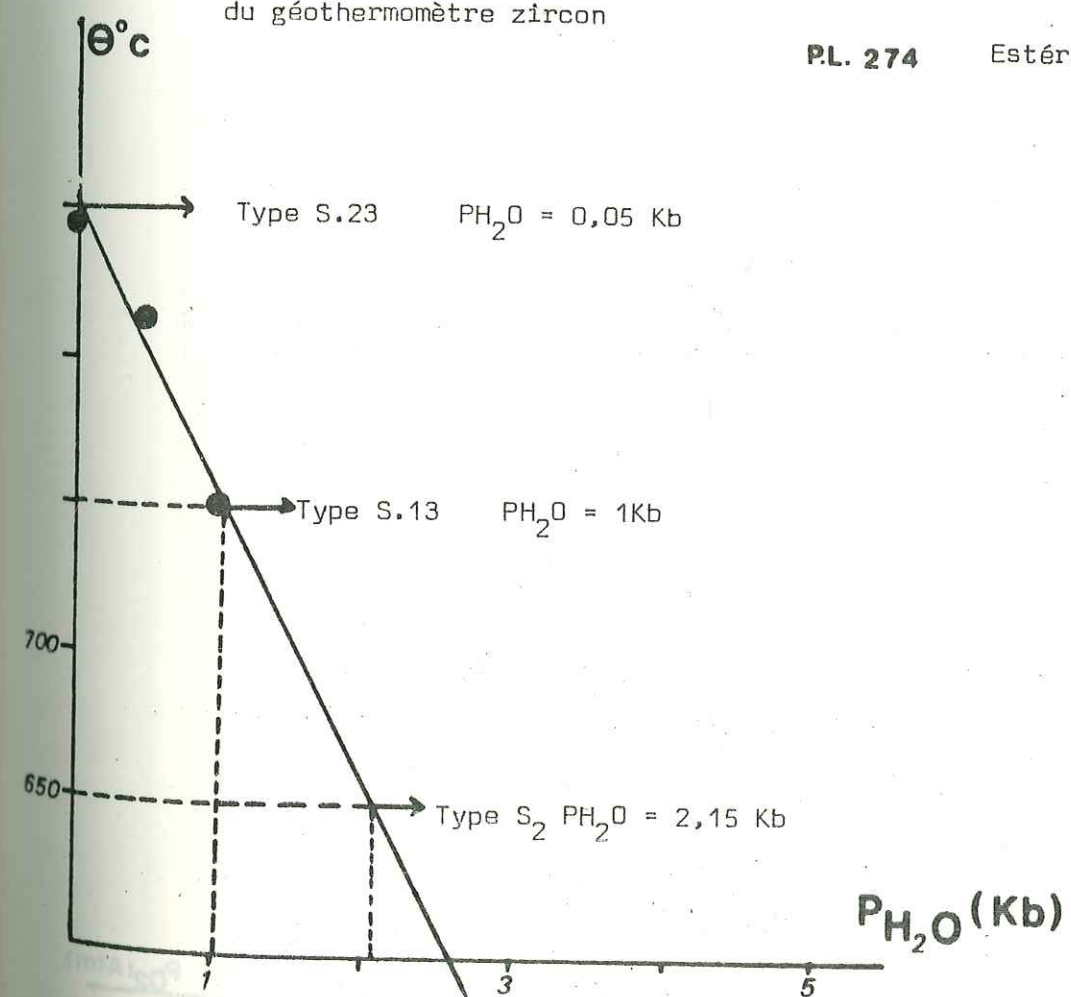


Figure: 186 Couplage du géothermomètre Plagioclase/verre et du géothermomètre zircon

P.L. 274 Estérellite de Pierre Levée





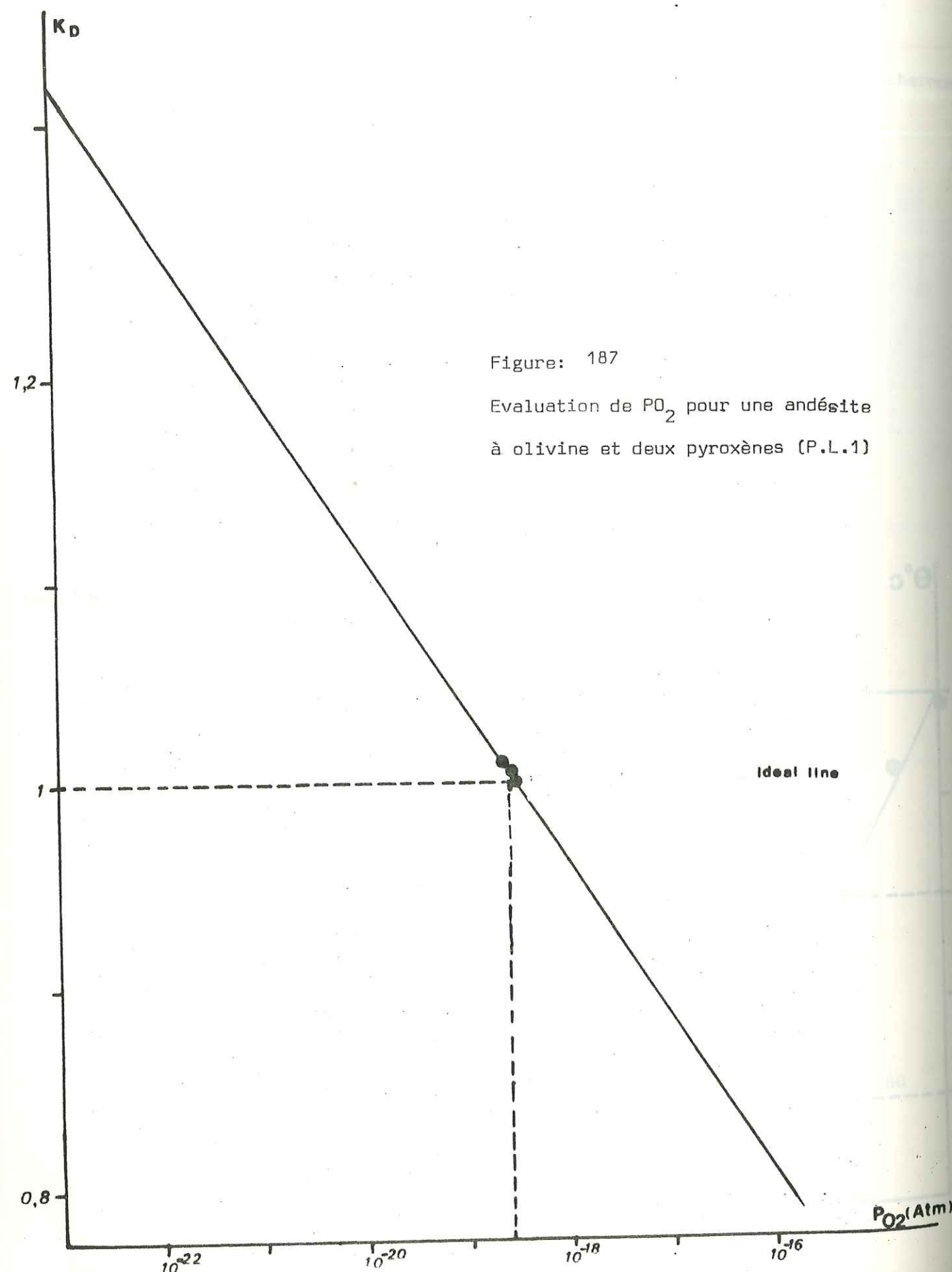


Figure: 187

Evaluation de  $PO_2$  pour une andésite  
à olivine et deux pyroxènes (P.L.1)

Les valeurs des pression d' $H_2O$  obtenues sur les roches calco-alcalines paléogènes des provinces méridionales se répartissent suivant deux groupes :

- \* des valeurs faibles de  $P_{H_2O}$  dans les andésites liguro-provençales et sub-alpines méridionales ( $P$  comprise entre 1,10 et 2,7 Kb),
- \* des valeurs plus élevées dans les estérellites où la  $P_{H_2O}$  peut atteindre des valeurs proches de 4Kb.

La roche P.L.274 (estérellite à biotite) semble s'être formée à des pressions d' $H_2O$  faibles (entre 0,05 et 2,15 Kb). Si l'on observe la distribution typologique du zircon dans cette roche et dans celle des Ferrières qui est du même type (cf. Fig.123q) on remarque que dans le cas de P.L.274 la population des zircons est très étalée. Elle est même bimodale dans le cas de l'estérellite à biotite des Ferrières.

Dans ce type de roche, le couplage zircon/plagioclase verre est délicat à appliquer. Il est probable, en effet, que ces faciès représentent le résultat de mélanges magmatiques entre des liquides andésitiques et dacitiques à rhyodacitiques (voir plus loin).

Nous retiendrons, comme caractère dominant des études par couplage de géothermomètres, la corrélation satisfaisante qui existe entre :

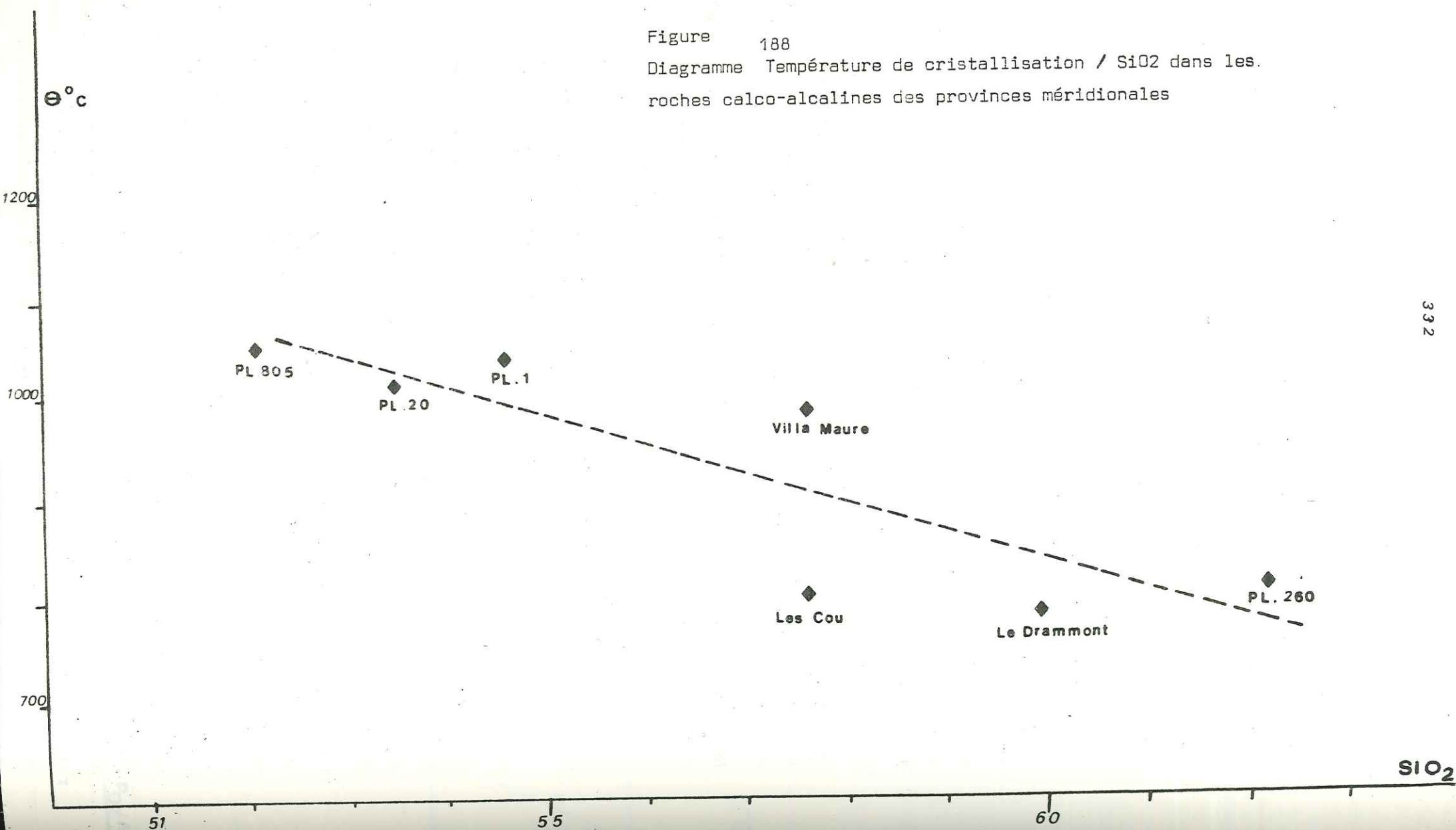
- \* la température et le taux de silice en roche totale :  
 $T^\circ C$  décroît lorsque  $SiO_2$  augmente (Fig.188),
- \* la pression d' $H_2O$  et le caractère de la roche :  
 $P_{H_2O}$  est élevée dans les estérellites et les andésites à amphibole (Fig.189).

D'après ce que l'on connaît actuellement sur les conditions de Pression Température de cristallisation des andésites, il semble que l'on puisse admettre que les valeurs de la  $P_{H_2O}$  sont inférieures à la  $P$  totale dans ces roches.

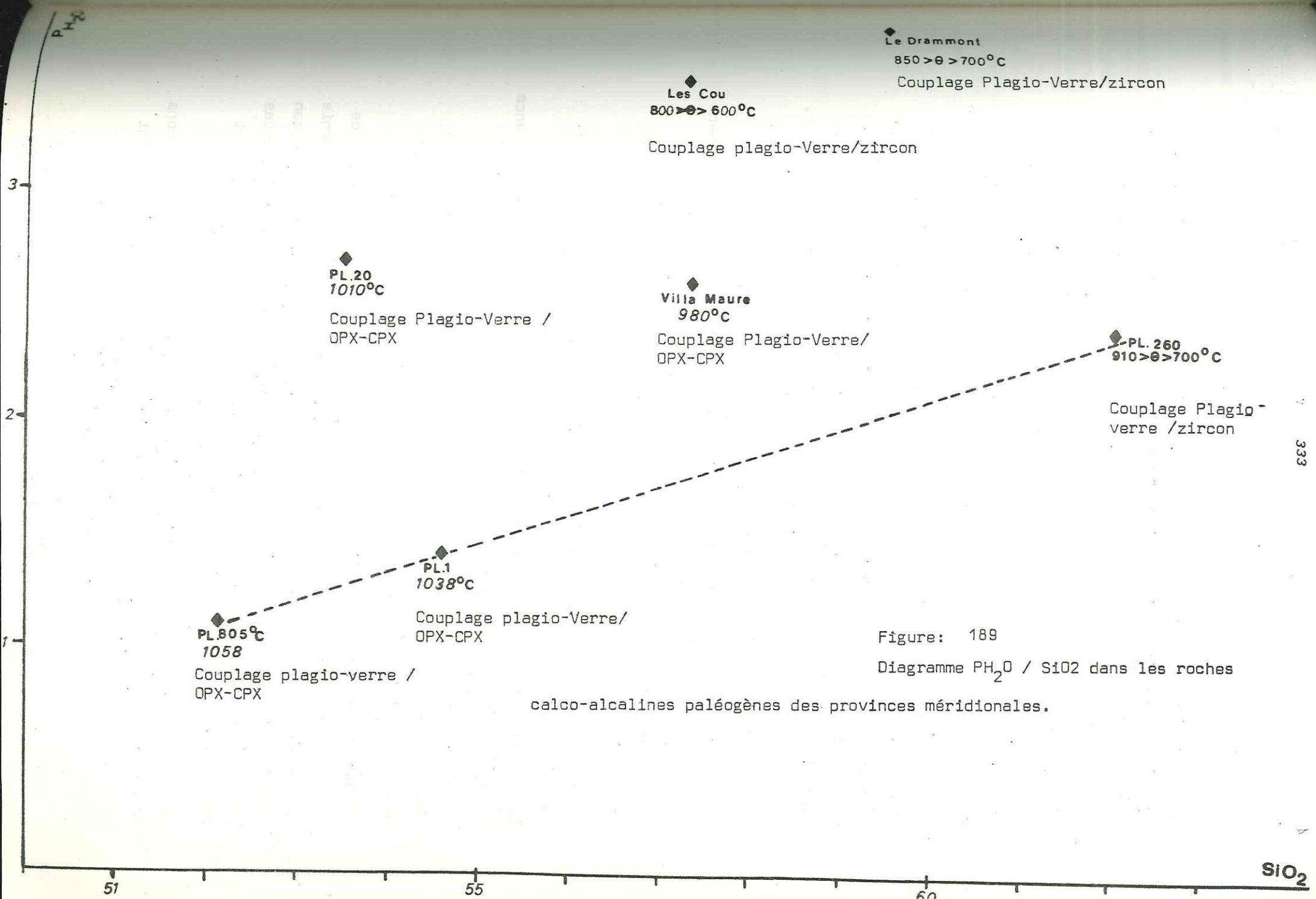
Les estérellites montrent des  $P_{H_2O}$  plus fortes. Elles sont, du point de vue magmatique, plus différenciées que les andésites et elles ont cristallisé proche de la surface. Il est fort probable que dans ces roches  $P_{H_2O}$  soit égale ou peu différente de la pression totale. T.H. Green (1972) a montré que l'augmentation de la quantité d'eau dans un magma alumineux naturel élargissait sensiblement le champ de cristallisation de l'amphibole. Les travaux de J.C. Allen et A.L. Boettcher (1975) ont montré que dans les séquences de cristallisation expérimentale d'une andésite naturelle (Mt. Hood) la paragenèse Amphibole + OPX + Opaque était stable à des



Figure 188  
Diagramme Température de cristallisation / SiO<sub>2</sub> dans les.  
roches calco-alcalines des provinces méridionales



332



333

Figure: 189  
Diagramme PH<sub>2</sub>O / SiO<sub>2</sub> dans les roches  
calco-alcalines paléogènes des provinces méridionales.



pressions comprises entre 12 et 18Kb pour des températures de cristallisation inférieures à 950°C. Ces données expérimentales correspondent aux andésites que nous avons étudiées et dans lesquelles l'amphibole cocristallise avec l'OPX.

Des pressions de 12 Kb sont bien supérieures à  $P_{H_2O}$  dans les andésites. Elles correspondent à des profondeurs de 30 à 40 Km qui sont voisines de la profondeur actuelle de la base de la croûte sialique à l'aplomb des centres volcaniques que nous avons étudiés.

Ces pressions sont compatibles avec les indications données par la présence de grenat primaire dans les estérellites (cf. Fig.120). Nous avons conclu, en accord avec T.H. Green et A.E. Ringwood (1968) que le grenat était le premier minéral à cristalliser en présence d'eau à des pressions comprises entre 9 et 18 Kb, en base de croûte ou dans le manteau supérieur.

#### 1-1 e) Les mélanges.

Nous n'avons pas trouvé, en Province Liguro-Provençale, d'indices montrant des phénomènes de mélange dans les andésites.

Si ces phénomènes ont agi sur le magma andésitique, il est impossible de les mettre en évidence.

Certains auteurs interprètent les figures observées sur les plagioclases comme des phénomènes de mélanges magmatiques.

Nous ne trancherons pas ce problème dans le cas de notre étude, en l'absence de données géochimiques plus complètes.

Nous rappellerons, toutefois, que dans l'estérellite des Ferrières, nous avons mis en évidence des phénomènes de mélanges par l'intermédiaire de populations de zircons qui sont bimodales.

L'étude typologique du zircon permet, en effet, de déceler les mélanges de magmas. Nous avons testé la méthode sur des échantillons que nous a fournis M. Sakuyama. Cet auteur a travaillé sur les laves calco-alcalines du volcan Shirouma-Dike (Japon) et a mis en évidence (M. Sakuyama, 1979) par les études pétrologiques et géochimiques des mélanges entre liquides andésitiques et dacitiques.

La Figure 190 montre que le point représentatif de la population de zircons d'une andésite se trouve, dans le diagramme I.A, I.T., en-dessus du point matérialisant le mélange andésite-dacite.

#### 1-1 f) La ségrégation gravitative.

Nous avons volontairement laissé de côté l'étude des roches à caractère cumulatif (essentiellement des cumulats plagioclasiques).

Le rôle de l'accumulation du plagioclase est important, surtout dans les termes intermédiaires des séries orogéniques (C. Coulon et coll.1980).

Les cumulats plagioclasiques se reconnaissent essentiellement par les distorsions qui existent entre la composition chimique et la composition minéralogique. Les roches de la Province Sub-Alpine Méridionale, à l'exception des deux roches que nous avons prises en considération (P.L.237b et P.L.260) montrent des caractères de cumulats qui faussent l'étude pétrogénétique.

#### 1-1 g) Les relations pétrogénétiques entre pyroclastites et laves.

L'étude des matrices des nuées à blocs des Provinces Sub-Alpine Méridionale et Liguro-Provençale montre une grande similitude entre la fraction pyroclastique et la fraction effusive représentée par les blocs andésitiques inclus (blocs vieux et juvéniles).

Nous avons reporté sur un diagramme alcalins-silice (Fig.191) les analyses des ciments des brèches volcaniques. Ces dernières s'inscrivent dans le champ des laves liguro-provençales et sub-alpines méridionales.

Il existe, dans les matrices de nuées à blocs, des fragments de verre frais dont l'analyse montre qu'ils sont très acides.

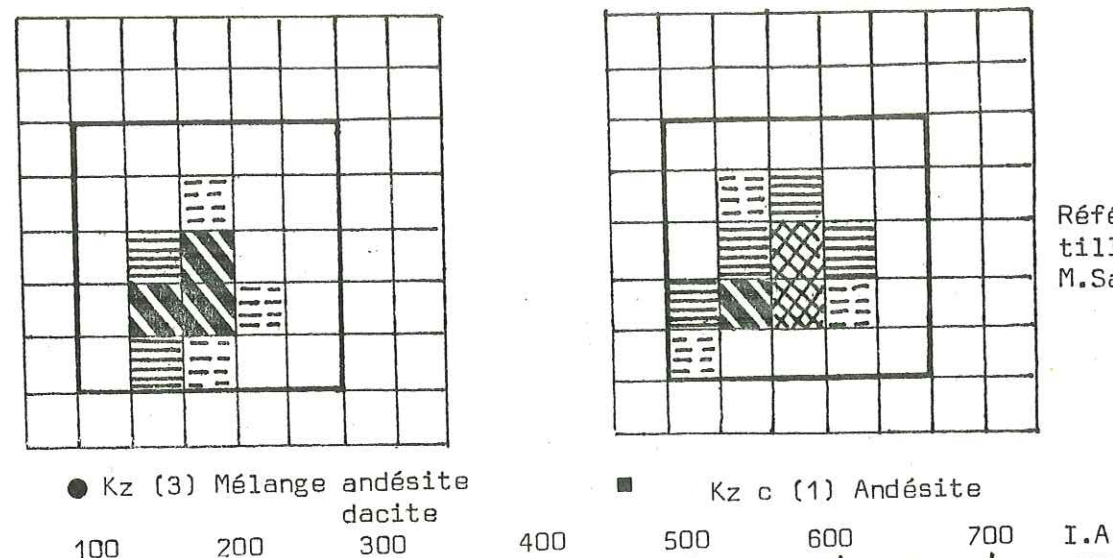
Certains ont des compositions de rhyolites calco-alcalines.

Dans le ciment des pyroclastites des Hauts de Vaugrenier, s'observent des mélanges entre des verres à composition dacitique et des fragments rhyolitiques.

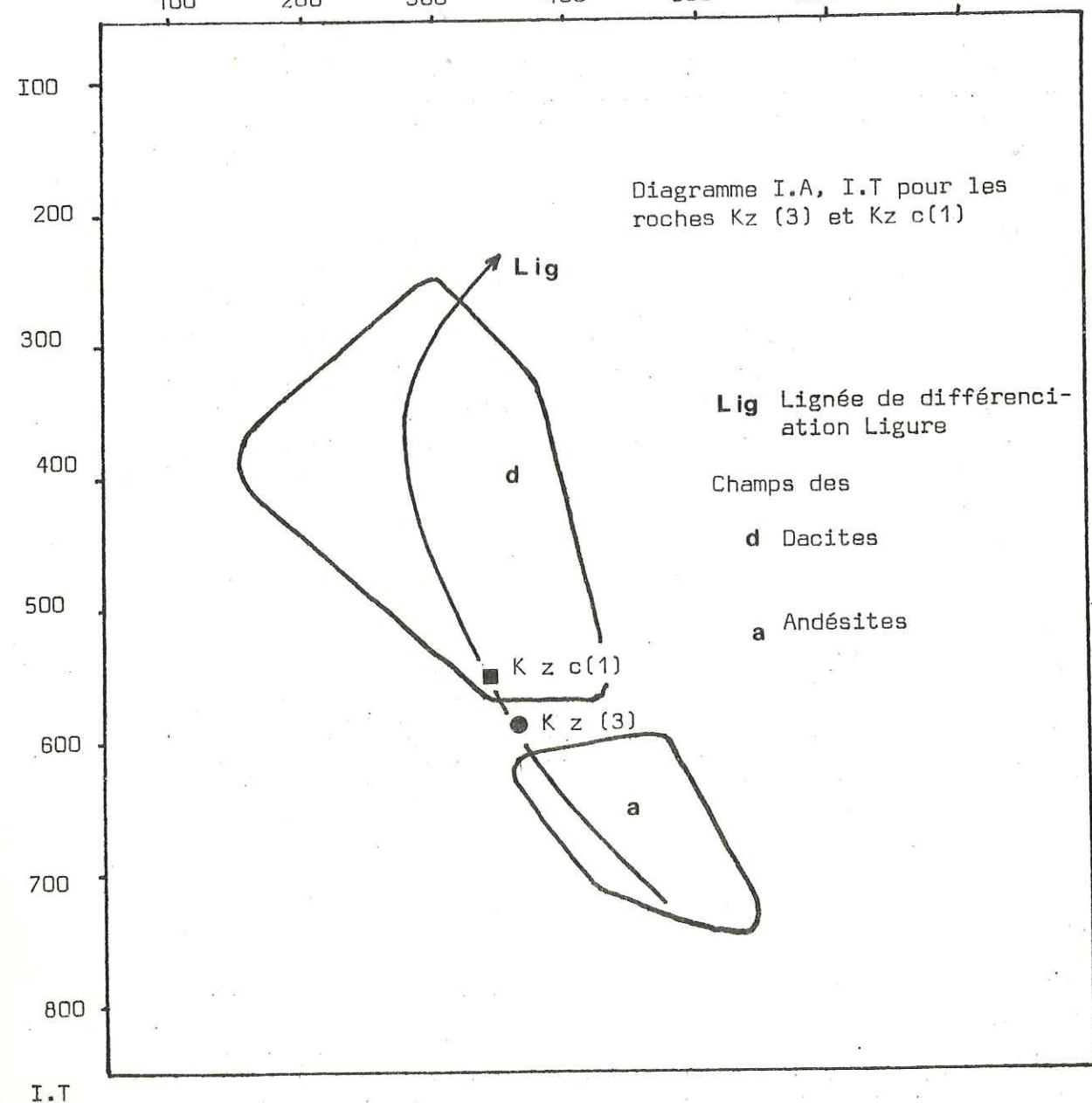
Nous avons reporté dans le Tableau 15 les analyses de la nuée à blocs P.L.300 (roche totale et verres dacitiques et andésitiques).



Figure : distribution typologique des populations de zircon des mélanges magmatiques du volcan Shirouma - Oike (Japon)



Références des échantillons in  
M. Sakuyama (1979)



## C 2) PETROGENESE DES LAVES DE LA PROVINCE HELVETICO-SAVOYARDE.

L'état d'altération des roches rend difficile la résolution du problème de leur origine.

Contrairement aux roches andésitiques des provinces méridionales, la composition des laves helvético-savoyardes est uniforme. Les échantillons étudiés ne semblent pas s'intégrer dans une série différenciée.

La seule certitude que l'on puisse admettre en ce qui concerne les roches des provinces septentrionales est leur caractère andésitique qui les apparente à la série calco-alcaline.

La présence d'amphibole corrélée à l'absence d'orthopyroxène permet d'envisager une cristallisation sous forte pression d'H<sub>2</sub>O.

Le chimisme ferrifère de certaines amphiboles des andésites helvético-savoyardes (Pargasites) permet de penser que les magmas ayant engendré les andésites étaient enrichis en fer.

Il est difficile d'interpréter l'association de termes très potassiques et moyennement potassiques dans ces roches, en raison toujours de leur degré d'altération.

Nous émettrons, à titre d'hypothèse, que la relative uniformité observée au niveau des termes effusifs est due au caractère très explosif du volcanisme dans les zones septentrionales. Cette particularité a, d'ailleurs, été donnée comme l'une des caractéristiques du volcanisme andésitique (C. Lefèvre, 1974).

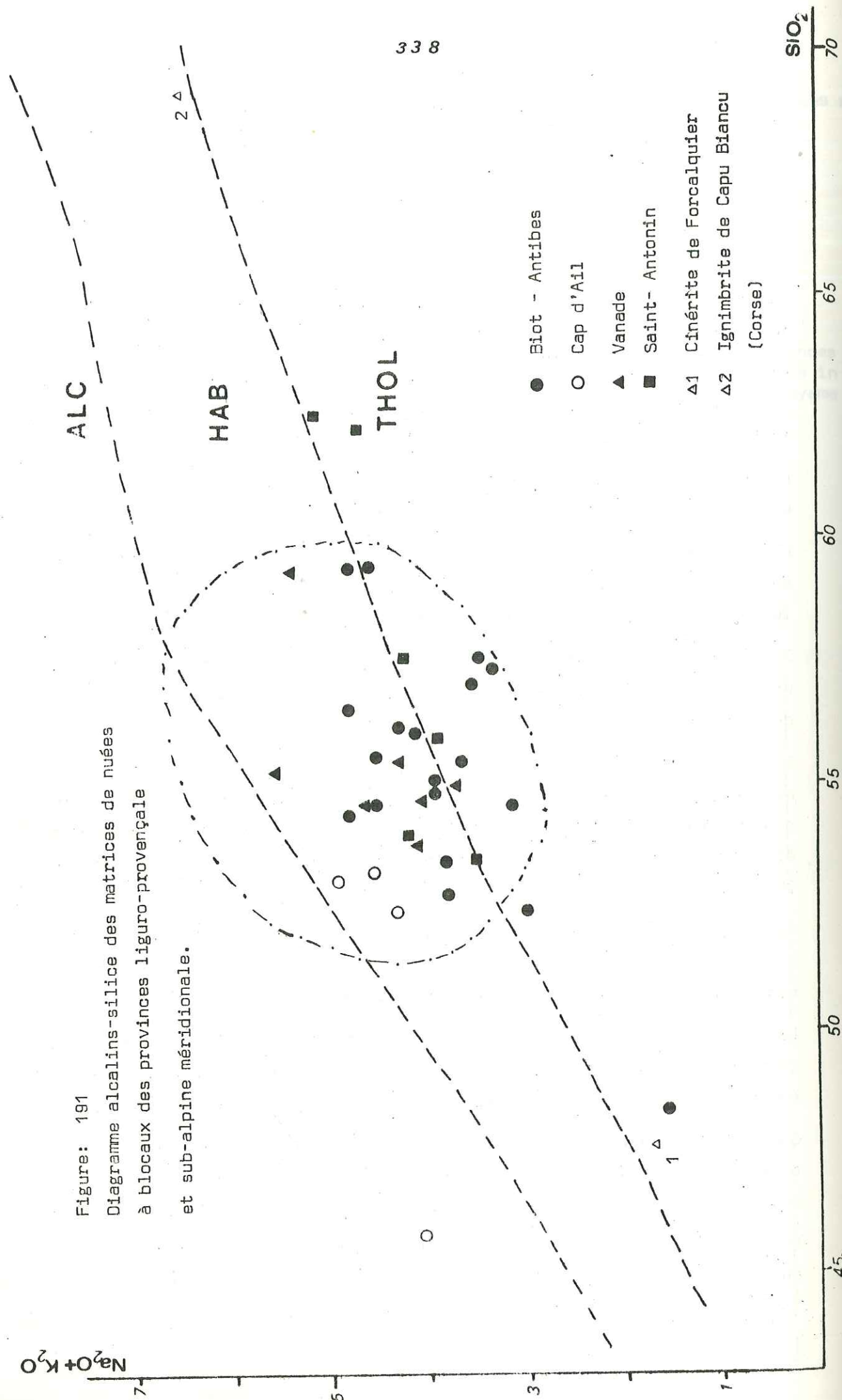
Ajoutons, enfin, que le magma andésitique juvénile n'est connu dans le synclinal de Thônes et le secteur d'Arâches que par des ejecta volcaniques mis en place dans un contexte sous-marin exposif.

La seule preuve de l'existence d'une différenciation minime pourrait être trouvée dans le fait que les amphiboles des laves andésitiques varient, en composition chimique, des pargasites aux hornblendes magnésiennes.

Dans les laves du Champsaur où, là encore, la composition pétrologique et minéralogique des fragments de roches est très uniforme, les amphiboles ne montrent pas de variation cristallochimique. Ce sont des pargasites.

Ces minéraux ont, probablement, cristallisé dans un magma très enrichi en eau antérieurement au fractionnement des olivines et des pyroxènes.





	(1)	(2)	(3)
SiO <sub>2</sub>	53,44	67,13	76,11
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19,13	19,29	12,63
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,06		
FeO	1,93	4,27	2,32
CaO	7,24	1,67	0,24
MgO	3,24	1,93	0,14
MnO	0,16	0,03	0,14
Na <sub>2</sub> O	3,71	3,57	1,00
K <sub>2</sub> O	0,75	3,66	2,64
TiO <sub>2</sub>	1,03	0,16	0,39
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,20		
H <sub>2</sub> O(+)	0,66		

Tableau  
15

Matrice de la nuée à blocs PL300

(1) roche totale

(2) verre dacitique

(3) verre rhyolitique

Analyse d'une pyroclastite de Saint Antonin comparée à une brèche volcanique  
du Santaguito (in Rose W.I. 1977)

	(1)	(2)
SiO <sub>2</sub>	63,00	62,55
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,40	17,14
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (+)	5,90	5,01
MgO	1,70	1,68
CaO	5,10	6,29
Na <sub>2</sub> O	4,50	3,76
K <sub>2</sub> O	1,60	1,41
TiO <sub>2</sub>	0,50	0,66
H <sub>2</sub> O	0,40	1,07

(2) matrice de nuée à blocs (P.L.256  
Saint Antonin)

(1) nuée ardente du Santaguito (1973)



### C 3) ORIGINE DES LAVES CALCO-ALCALINES PALEOGENES DES ALPES OCCIDENTALES.

Nous ne disposons pas de données géochimiques suffisamment nombreuses pour pouvoir résoudre, de façon sûre, le problème de l'origine des séries andésitiques péri-alpines.

Nous nous limiterons donc à une approche intégrant les données de la pétrographie, de la minéralogie et de quelques renseignements fournis par la géochimie des éléments majeurs.

#### C 3-1) Origine des laves calco-alcalines des provinces paléogènes méridionales.

##### 3-1-1) Caractère dominants.

Les laves des provinces méridionales sont essentiellement des andésites basiques qui ont subi un processus de différenciation par cristallisation fractionnée, ségrégation gravitative et enrichissement en fluides dans les stades ultimes du fractionnement.

Les termes différenciés sont peu abondants. Ils sont représentés par des rhyodacites à biotite et des trondjémities.

Les termes les moins représentés sont les laves basiques. Les liquides primaires semblent avoir cristallisé en profondeur pour donner de petits massifs gabbroïques et dioritiques.

Dans les provinces méridionales s'observent des associations entre des roches peu potassiques et des laves à caractère shoshonitique. Les rapports isotopiques du strontium montrent des valeurs très fluctuantes.

#### C 3-2) Rappels sur l'origine des suites calco-alcalines.

Les travaux concernant le problème de l'origine des suites calco-alcalines sont trop nombreux pour que nous en dressions, ici, un inventaire complet. Nous nous bornerons à rappeler quelques-uns des modèles actuellement les plus souvent testés.

A.L. Boettcher (1973) a dressé une liste complète des différentes hypothèses invoquées à l'époque pour expliquer la genèse des suites calco-alcalines.

Nous rappellerons les travaux de T.H. Green et A.E. Ringwood (1968) et, plus récemment, ceux de C. Coulon (1977), C. Lefèvre (1979), A. Demant (1980) et C. Robin (1981) qui ont contribué à mieux faire connaître les séries orogéniques type, mises en place dans des contextes géodynamiques récents.

Nous citerons, enfin, les travaux les plus récents en ce qui concerne la genèse des magmas basaltiques alumineux par fusion de xénolithes gabbroïques par du magma andésitique (H. Fujimaki, 1982).

\* LE MODELE LE PLUS GENERALEMENT INVOQUE est le premier à avoir été testé expérimentalement par T.H. Green et A.E. Ringwood (1968) qui expliquent la genèse des magmas primaires calco-alcalins par un processus de fusion partielle de croûte océanique en subduction. Cette fusion partielle peut se faire soit aux dépens d'une croûte à composition d'amphiboles ou à partir d'éclogites quartziques.

\* Certains auteurs, en revanche, font dériver les andésites de fusions partielles de matériel sialique. Ce processus a été, notamment invoqué par H. Pichler & W. Zeill (1969) pour les andésites andines.

\* H.S. Yoder (1969), I. Kushiro et H.S. Yoder (1969) ont obtenu par voie expérimentale des liquides andésitiques par fusion partielle hydratée de périclites.

\* E.F. Osborn (1959) invoque le processus de cristallisation fractionnée à partir d'un magma basaltique alumineux.

\* H. Kuno (1968) insiste sur les phénomènes de contamination pour expliquer la genèse de la suite à hypersthène du Japon.

\* C. Lefèvre (1979) retient comme origine probable pour le magma primaire andésitique du volcanisme plioquaternaire péruvien une genèse par fusion partielle de périclites à spinelles du manteau supérieur situé au-dessus de la lithosphère océanique subductante. L'eau libérée par la plaque subductée déclencherait la fusion.

On aurait, alors, formation d'un premier liquide qui pourrait stationner à la partie inférieure de la lithosphère continentale et subir une première différenciation par fractionnement d'une amphibole pauvre en silice et riche en fer (Pargasite) en accord avec T.G. Green et A.E. Ringwood (1968). La cristallisation de ce minéral conduirait à un liquide résiduel



à composition d'andésite basique apauvrie en éléments de transitions (V, Fe, Cr, Co, Ni). Le séjour intratellurique (dans la lithosphère continentale) de ce magma andésitique basique conduirait à des compositions andésitiques et dacitiques par cristallisation fractionnée, en présence ou non de processus de contamination. La contamination est seule susceptible d'expliquer l'abondance des minéraux hydroxylés et la valeur élevée de certains rapports isotopiques.

Un tel modèle permettrait, en particulier, d'expliquer l'absence de basaltes ou leur très faible représentation dans les suites calco-alcalines de marge continentale active (C. Coulon, 1977).

\* C. Robin (1980) invoque un modèle de fusion de la zone à amphibolites lors de la subduction de la plaque océanique des Cocos. La transformation des amphibolites en éclogites provoque, à une profondeur d'environ 120 km la fusion partielle hydratée du manteau sous-jacent au continent américain. Il y a alors production de basaltes. Postérieurement, la fusion des éclogites provoque, par réaction avec le manteau supérieur, la formation de liquides andésitiques primaires.

### C 3-3) Origine de la série calco-alcaline des provinces paléogènes maridionales.

Le magma qui se situe à l'origine de la série calco-alcaline liguro-provençale et sub-alpine méridionale semble avoir été le résultat d'une double contribution :

- la fraction profonde serait un liquide proche d'une composition basaltique dans lequel aurait fractionné l'olivine et l'orthopyroxène (contribution mantellique),
- cette partie "mantellique" aurait, par la suite, été enrichie en  $H_2O$  ce qui expliquerait l'abondance des minéraux hydroxylés dans des roches à composition très basique (contribution crustale).

L'olivine ayant cristallisé sous des  $P_{O_2}$  voisines des conditions régnant en base de croûte continentale on peut envisager l'hypothèse selon laquelle le liquide primaire de la série liguro-provençale et sub-alpine méridionale se serait individualisé à la base de la croûte sialique. Cette hypothèse est corroborée par le fait que les cristaux de grenat conservés au cœur des plagioclases de certaines dacites ont cristallisé dans des conditions  $P, T^o$  pouvant correspondre à ce domaine.

\* Les enclaves gabbroïques renferment des amphiboles de type pargasite montrant, généralement, en leur partie centrale des reliques d'augites peu calciques. Elles peuvent représenter des liquides peu différenciés dans lesquels n'ont fractionné que des amphiboles d'abord pargasitiques puis des hornblendes. La phase résiduelle, enrichie en silice et en aluminium aurait pu permettre la cristallisation de plagioclase. L'abondance des éléments de transition dans ces roches gabbroïques reflète une cristallisation à partir de liquides peu différenciés.

\* Les andésites basiques à olivine et deux pyroxènes, très peu abondantes, pourraient représenter le liquide primaire dans lequel ont fractionné les premiers minéraux fémiques. L'apparition de l'amphibole dans les andésites marquerait le début de l'intervention de l'eau dans la différenciation.

\* Les andésites riches en K se seraient formées lors de l'ascension des liquides andésitiques dans la lithosphère continentale. La croûte sialique semble seule capable de produire, par contamination, un enrichissement en potassium ainsi que des valeurs anormales des rapports isotopiques du strontium.

La libération du potassium est peut-être provoquée par des processus de fusion partielle très localisés dans la croûte continentale. G. Dal Piaz (1978) a invoqué un tel processus pour expliquer l'association de termes peu potassiques et de laves très potassiques dans le secteur de Biella.

Il semble donc que l'on puisse envisager, pour expliquer la genèse de nos roches un modèle tenant compte des propositions de C. Lefèvre (1979) en ce qui concerne la production de liquides de fusion partielle, en base de croûte, en présence d'eau avec fractionnement d'amphiboles pargasitiques et de pyroxènes augitiques pauvres en Ca. Ce modèle n'explique cependant pas la présence d'andésites à olivines.

Nous sommes conduits à envisager deux types de liquides primaires :

- l'un dans lequel fractionne l'amphibole et le clinopyroxène déficitaire en Ca et dont la phase résiduelle peut produire un liquide à composition d'andésite qui migrera vers les zones superficielles de la lithosphère pour donner des dacites,

- l'autre, dans lequel fractionne l'olivine et l'orthopyroxène et dont la phase résiduelle est une andésite à pyroxène qui subira l'influence des fluides lors de son ascension dans la lithosphère continentale.



L'existence de ces deux types de liquides primaires pourrait s'expliquer par le fait que la croûte sialique est plus épaisse sous le massif de l'Estérel qu'à l'aplomb de la Province Ligure ou de la Province Sub-Alpine Méridionale.

Cette disposition structurale permet d'envisager, à l'aplomb de l'Estérel, des phénomènes de fusion partielle en base de croûte avec libération d'eau favorisant la précipitation de l'amphibole dans le liquide primaire piégé à ce niveau.

Nous avons résumé notre hypothèse dans le schéma interprétatif de la Figure 192.

#### C 3-4) Origine des laves calco-alkalines des provinces septentrionales.

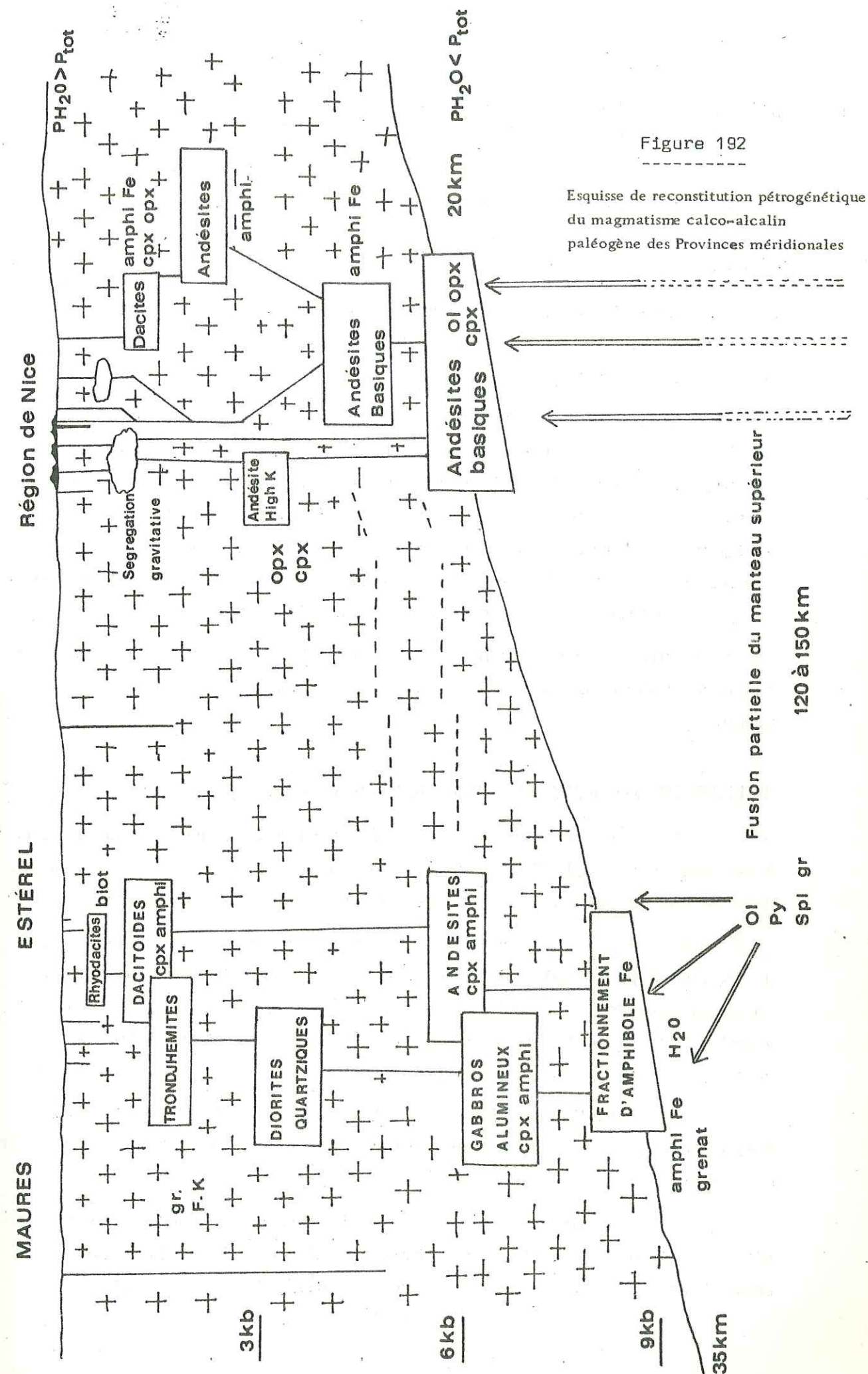
L'absence de verres volcaniques conservés ainsi que de paragenèses minéralogiques profondes rend difficile une interprétation.

Si les laves de la Province Helvético-Savoyarde sont le produit de la cristallisation d'un magma profond, il ne reste plus aucun témoin de ce magma parental.

L'association dans les laves des provinces septentrionales d'amphiboles ferrifères (Pargasites) avec des amphiboles de type hornblende magnésienne constitue une analogie avec les roches des provinces méridionales.

L'association de termes riches en K à des laves moyennement potassiques confirmerait cette analogie. Il conviendrait, toutefois, d'étudier plus en détail ces laves et de rechercher des marqueurs non altérés de leur pétrogenèse.

Les laves du Champsaur, qui sont des andésites essentiellement pargasitiques, représenteraient selon toute vraisemblance un magma moins évolué que celui des laves helvético-savoyardes.





## D) SIGNIFICATION GEODYNAMIQUE DU VOLCANISME CALCO-ALCALIN PALEOGENE DES ALPES OCCIDENTALES.

Au terme de l'étude du terrain, nous avons présenté un modèle de mise en place du volcanisme oligocène à l'échelle des chaînes sub-alpines occidentales et méridionales.

Ce modèle n'impliquait que la lithosphère continentale et nous allons maintenant changer d'échelle pour raisonner au niveau de la chaîne alpine occidentale toute entière.

Les données, déjà anciennes, H. Kuno (1956), W.R. Dickinson, T. Haterton (1967), H. Kuno (1968), C. Lefèvre (1974), et plus récentes C. Lefèvre (1979), C. Coulon (1977), A. Demant (1980) et C. Robin (1980), s'accordent à reconnaître que le magmatisme andésitique est lié aux contextes géodynamiques de subduction. Une objection à ce modèle a, toutefois, été opposée par T.L. Robyn (1979) pour les andésites de l'Orégon. M. Le Guern (1982) parvenait aux mêmes conclusions sur le volcanisme de Saint-Antonin.

Il semble difficile de s'opposer actuellement au modèle de la subduction océanique pour expliquer le contexte géodynamique d'une province andésitique.

### D 1) VOLCANISME ALPIN ET SUBDUCTION : HISTORIQUE DES TRAVAUX.

- R. Brousse (1975) relie le volcanisme andésitique ligure à la subduction de la Méditerranée sous la plaque européenne. Il semble, dans ce cas, impossible de déceler une polarité magmatique.

- M. Mattauer (1980) propose un modèle de subduction suivi de collision pour expliquer la chaîne alpine (cf. Fig. 65 p. 126). La subduction de l'"océan" piémontais sous la plaque sud-alpine interviendrait du Crétacé supérieur au Paléogène. Dans un tel schéma le volcanisme paléogène prend la signification de volcanisme post-collision.

- H. Bellon, R. Brousse (1977) réalisent une synthèse des datations et études pétrographiques effectuées sur le magmatisme péri-alpin occidental.

- M. Girod et N. Girod (1977) soulèvent le problème de l'origine des témoins andésitiques du pourtour alpin occidental. Ces auteurs constatent avec Alvarez (1972), Bayer et coll. (1973), Westphal (1976)

qu'avant, ou au tout début de la rotation du bloc Corso-Sarde, le volcanisme oligocène était limité à une bande étendue de Monaco à Alboran. Une telle disposition, comme l'avait remarqué R. Brousse (1975) pouvait s'expliquer par des subductions de micro-plaques méditerranéennes sous la plaque européenne.

- C. Coulon (1977) dans ses reconstitutions volcanologiques donne à la marge européenne la signification d'une marge continentale passive lors du déclenchement, à l'Oligocène, du volcanisme calco-alcalin Sarde.

- Plus récemment, J.P. Rehault (1981) interprète le volcanisme ligure comme le "résultat de la subduction de la plaque Afro-Apulienne sous la Sardaigne". Selon cet auteur, les autres éléments de ce volcanisme affleurerait dans les Alpes Occidentales. Dans un tel modèle, les effets de la subduction Afro-Apulienne paraissent excessifs du point de vue magmatique.

### D 2) POSITION DU PROBLEME.

- Marge continentale ou arc insulaire ? Les âges oligocènes à oligo-miocènes obtenus sur le volcanisme alpin en font un volcanisme postérieur à la fermeture de l'océan piémontais et à la collision continentale entre les blocs Sud Alpin et Européen. Le volcanisme étant synchrone de la sédimentation des grès de Taveyanne on ne peut plus parler de débris andésitiques de démantèlement d'un ancien arc insulaire en position interne, G. Dal Piaz (1979).

- Existence d'un ensemble volcanique continu au Paléogène, à l'échelle des Alpes occidentales ou pointements disséminés ?

Les analogies révélées par l'étude géologique au niveau des différents contextes structuraux des manifestations volcaniques montrent que l'on a à faire à un même et vaste ensemble. En effet, même en tenant compte des reconstitutions très allochtonistes récemment proposées par G. Doudoux et coll. (1982) à propos du synclinal de Thônes il n'en reste pas moins vrai que les ensembles type grès de Taveyanne ou grès d'Annot correspondaient, au moment de leur dépôt, à des formations détritiques externes par rapport à la chaîne (J. Debelmas et coll. 1980).



- Comment se placent les manifestations calco-alcalines andésitiques de Biella (Italie du Nord) dont l'âge radiochronologique est de -32 MA (H. Ahrend, 1972). G. Dal Piaz (1978) a étudié ce volcanisme qu'il caractérise par sa signification post-collision. Ce volcanisme a le même âge que celui que nous avons étudié dans les zones externes occidentales de la chaîne (Fig.193).

Si l'on s'en réfère à un modèle simple de subduction océanique pour résoudre ce problème, on est obligé d'envisager l'existence, à la même époque de deux plans de subduction à vergence opposée :

- \* l'un plongeant vers l'Est sous le domaine Sud-Alpin (plaque continentale) engendrant le volcanisme du secteur de Biella,
- \* l'autre plongeant vers l'Ouest, sous la plaque Européenne et engendrerait le volcanisme des chaînes sub-alpines occidentales.

Ce modèle semble audacieux. Il est impossible, d'autre part, d'invoquer l'inversion de polarité d'une subduction dans un laps de temps aussi court que l'intervalle supposé entre les datations inférieures et supérieures du volcanisme.

### D 3) MODELE GEODYNAMIQUE PROPOSE (Fig.193).

La chaîne Alpine se forme par fermeture d'un domaine à croûte océanique (le bassin Piémontais) à la suite d'une collision continentale. Les âges obtenus sur les différentes manifestations volcaniques semblent indiquer que le volcanisme calco-alcalin est postérieur à la collision. Bien que discutés du point paléogéographique, les caractères du domaine piémontais montrent l'existence d'une croûte océanique. M. Lemoine (1971) et P. Antoine (1973) ont discuté de la nature exacte des roches ophiolitiques et diabasiques que l'on y rencontre.

Certes, cet "océan" était restreint (100 km environ) et certains auteurs signalant localement des éléments gneissiques et granitiques dans les formations piémontaises donnaient à ce domaine la signification d'un simple bassin marginal ou d'un rift de type Afar (avec horsts sialiques résiduels).

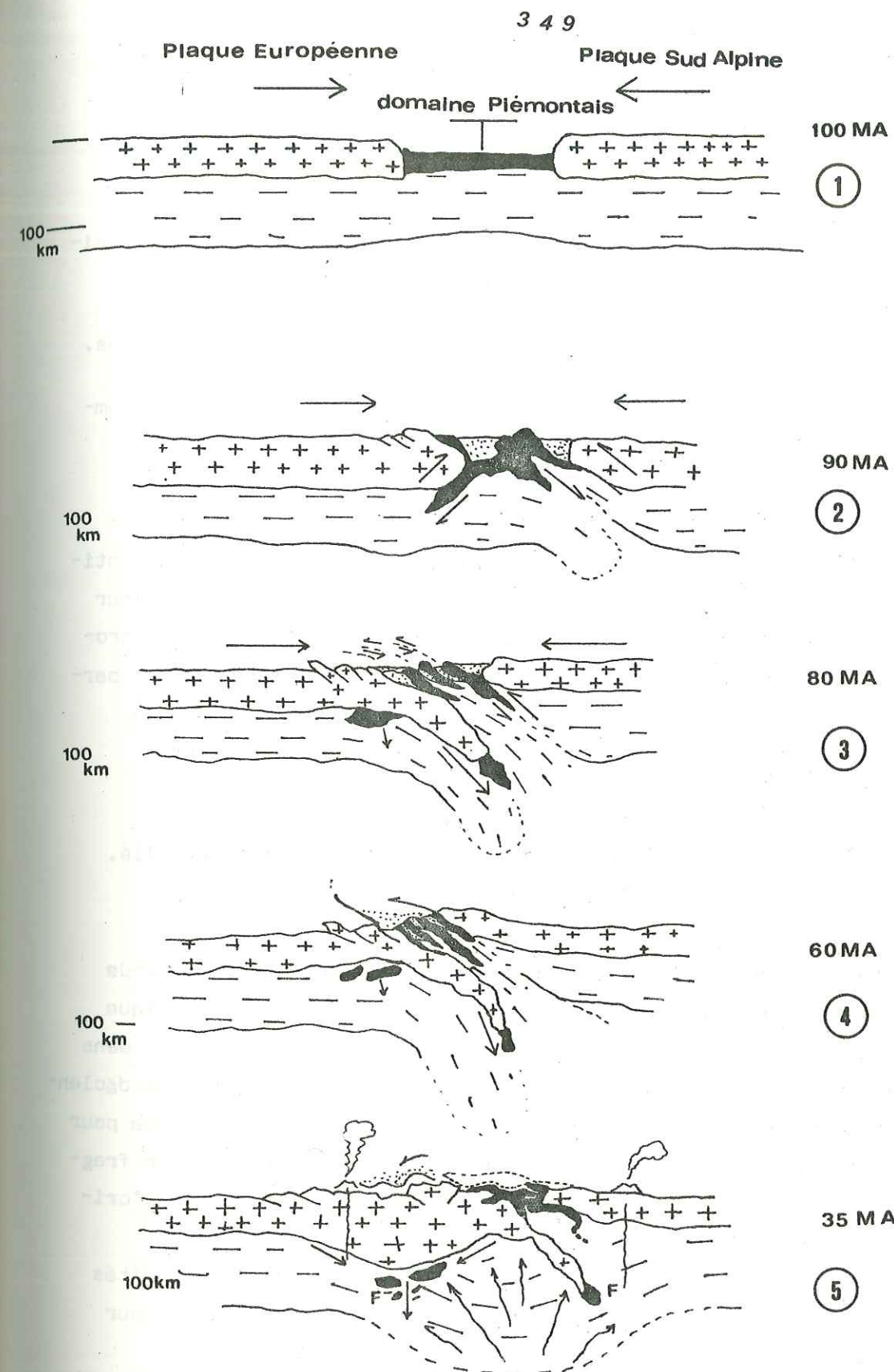


Figure 193

MODELE HYPOTHETIQUE D'INTERPRETATION GENETIQUE ET GEODYNAMIQUE DU VOLCANISME CALCO-ALCALIN PALEOGENE DES ALPES FRANCO - ITALIENNES.  
Les figurés utilisés par M. Mattauer (1978) ont été conservés.



## ① Crétacé supérieur : (-100 M.A.)

Dans les zones externes, mouvements de surrection et début d'écaillage des massifs externes.

Dans les zones internes : début du serrage. Le domaine Piémontais va subir l'écrasement entre les deux plaques continentales Européenne et Sud-Alpine.

Début du dépôt des flyshs à helminthoïdes dans une zone en subsidence individualisée à la faveur de l'enfoncement du domaine piémontais.

## ② Le matériel "océanique piémontais" s'enfonce sous les plaques continentales.

Accentuation du serrage: le domaine piémontais est écaillé dans la zone comprise entre les deux plaques continentales.

## ③ La plaque Européenne entraînant un fragment de croûte océanique subducte vers l'Est. Un fragment de matériel piémontais, cisailé par la plaque subductante est sous-charrié à la base de la croûte , le long de la discontinuité de Mohorovicic. Ce fragment peut s'enfoncer dans le manteau supérieur sous-jacent à la croûte continentale Européenne mais n'atteint pas une profondeur suffisante pour libérer son "humidité", et provoquer des fusions partielles dans le manteau supérieur. Les auteurs placent à cette époque le métamorphisme du matériel piémontais dans la zone orientale (schistes à glaucophane).

## ④ Continuation du serrage: Le matériel piémontais est totalement écaillé. Les deux continents sont pratiquement en contact

## ⑤ La collision s'est produite. Dans les zones internes se produit une grande contraction. Un bourrelet se forme à l'aplomb duquel le matériel océanique piégé sous la croûte Européenne subit un brusque enfoncement dans le manteau supérieur. Il atteint alors des profondeurs suffisantes pour déclencher des fusions partielles dans le manteau supérieur. Il en est de même pour le fragment océanique oriental qui subit la déshydratation complète. Un fragment de croûte sialique impliqué dans les fusions partielles serait à l'origine de la série "ultra-potassique" de Biella (G. DalPiaz 1978). Un tel dispositif explique le faible volume des produits émis, les quantités de matériel océanique parvenant dans des zones suffisamment profondes pour provoquer des fusions partielles étant finalement très réduites.

Quoiqu'il en soit, les roches diabasiques et ophiolitiques de l'ancien domaine piémontais restent cependant les seules susceptibles, par leur subduction, de déclencher le magmatisme calco-alcalin.

Lors de la fermeture de l'océan Piémontais qui a débuté au Crétacé supérieur et qui s'est achevée au Paléocène, on peut envisager que le matériel océanique n'aurait pas subi une simple subduction à vergence Est mais aurait pu s'enfoncer à la fois sous la plaque Européenne et sous la plaque Sud-Alpine. On peut avoir une idée de l'époque d'enfouissement du plancher océanique piémontais du côté oriental où des schistes bleus à glaucophane ont fourni un âge de -80 MA. Le volcanisme calco-alcalin est absent à cette période ce qui a conduit les auteurs à envisager une subduction de croûte continentale sous la croûte océanique (M. Mattauer, 1978).

G. Dal Piaz (1978) interprète le volcanisme de Biella comme le résultat de la fusion partielle de matériau océanique mélangé à la croûte continentale Européenne impliquée dans le mouvement de subduction-collision. Le même phénomène a pu se produire dans les zones occidentales.

La compression du bassin Piémontais se serait alors traduite par l'enfoncement sous la marge Européenne de fragments à composition océanique et de fragments de lithosphère continentale.

On peut invoquer un dispositif de ce type dans un contexte de compression provoqué par le rapprochement de deux plaques continentales qui compriment un domaine océanique (de faible étendue).

Le matériel océanique, plus dense, peut avoir tendance à réagir à la compression par un enfoncement.

Dans un tel dispositif, l'"océan" piémontais pourrait être interprété comme un "océan sialique" impliqué dans une collision continentale, en accord avec les travaux de Celal A.M. et coll. (1980).

R. Caby et coll. (1978) avaient proposé un modèle d'évolution tectonique des Alpes Occidentales dans lequel la subduction du domaine piémontais subissait une inversion de polarité.



La concordance des âges entre les manifestations occidentales et orientales du volcanisme paléogène alpin (-33 M.A. pour le volcanisme de Saint-Antonin, -32 M.A. pour le volcanisme de Biella) milite en faveur d'une double subduction et non d'une inversion de polarité d'un plan de subduction.

Le problème de la formation de la chaîne alpine est complexe (Lemoine, M. 1984 à paraître). et nous n'avons pas la prétention de le résoudre.

La tentative de reconstitution géodynamique que nous présentons ici est destinée à montrer que l'étude paléovolcanologique, pétrologique et géochimique d'un volcanisme associé à un orogène doit être complémentaire des études géologiques structurales.



## RESUME DU MEMOIRE

CONCLUSIONS GÉNÉRALES



Le mémoire présenté est une étude du volcanisme tertiaire des Alpes Occidentales.

Dans un premier temps, nous nous sommes attachés à observer et à décrire les formations volcaniques sur le terrain en essayant de caractériser la dynamique du volcanisme et de replacer l'évènement volcanique dans son contexte structural.

Il était alors possible, au terme du travail, de présenter un modèle géodynamique intégrant le volcanisme dans le contexte de la chaîne alpine.

Dans le détail, ces démarches successives nous ont permis de préciser les connaissances dans le domaine de :

#### A) La Géologie du volcanisme tertiaire des Alpes Occidentales.

- Le volcanisme tertiaire alpin date du Paléogène. Les problèmes de datations absolues ne sont pas encore résolus mais l'on peut avancer un âge oligocène pour l'ensemble des manifestations magmatiques.

- Les formations volcaniques actuellement conservées au coeur des synclinaux nummulitiques subalpins sont les vestiges d'un ancien arc magmatique. Le volcanisme s'est développé dans les zones externes des Alpes occidentales (Taveyanne, Cluses, Thônes, Champsaur, Sub-Alpin Méridional et Liguro-Provençal) et dans les zones plus internes (Italie du Nord, Biellese).

- L'activité volcanique, à dominante explosive, a fourni une quantité importante de pyroclastites. Les analogies sont nombreuses entre les différentes provinces et l'ensemble des formations étudiées est à rapporter, vraisemblablement, à un cycle unique.

- Dans les provinces septentrionales, les éruptions sous-marines en zone littorale étaient contemporaines de la sédimentation des grès de Taveyanne.

- Dans les provinces méridionales, l'essentiel de l'activité volcanique était aérienne (Biot, Saint-Antonin) ou hypovolcanique (Estérel).

En Italie du Nord, on ne connaît que des filons et de petites intrusions.

- Le contexte structural du volcanisme correspond à l'Oligocène, à une phase compressive responsable de l'individualisation de bassins à sédimentation syntectonique.

Des épisodes distensifs, de faible durée, ont dû intervenir dans le contexte compressif dominant et permettre l'installation du volcanisme.

#### B) La Pétrologie et la Minéralogie des formations volcaniques.

Les caractères dominants du volcanisme sont calco-alcalins. Les laves sont très porphyriques, les andésites prédominent sur les andésites basiques et les dacites.

Les laves et les pyroclastites renferment sensiblement les mêmes paragenèses.

- Dans les provinces septentrionales, le type de lave le plus fréquent est une andésite à hornblende, augite et plagioclase zoné.

Les basaltes sont absents.

- Dans les provinces méridionales, les types pétrographiques sont plus variés. On rencontre :

- \* des andésites basiques à olivine et deux pyroxènes,
- \* des andésites basiques et andésites à deux pyroxènes,
- \* des andésites et dacites à deux pyroxènes et amphibole,
- \* des andésites et dacites à clinopyroxène et amphibole,
- \* des andésites à amphibole,
- \* et des dacitoïdes, rhyodacitoïdes et rhyodacites à amphibole et biotite.



Ces roches contiennent des enclaves homoéogènes gabbroïques ou dioritiques plus ou moins cumulatives qui représentent, selon nous, les équivalents grenus des liquides les moins évolués. Les enclaves trondjhémiques pourraient représenter l'équivalent cristallisé de liquides hyperalumineux de fin de différenciation.

L'ordre de cristallisation des minéraux est conforme à celui que l'on observe dans les suites calco-alcalines des domaines orogéniques.

Les andésites moyennement potassiques sont associées à des shoshonites dans les provinces méridionales et la région de Biella (Italie du Nord).

### C) La géochimie des formations volcaniques.

Les andésites et roches associées montrent, du point de vue géochimique, des teneurs en éléments majeurs comparables à celles des andésites mondiales.

L'étude du Potassium dans ces roches confirme l'association d'andésites et de shoshonites dans les provinces méridionales et la région de Bielle.

Les roches des provinces septentrionales sont très altérées et l'étude de leur géochimie n'a permis que peu d'interprétations.

La géochimie des éléments en traces ne révèle pas de différence sensible avec ce que l'on connaît des roches calco-alcalines de même type.

La géochimie isotopique du strontium et l'évolution du couple Rb/Sr révèle une grande hétérogénéité dans les roches étudiées.

Le rapport  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  varie de 0,700 à 0,720. L'action des fluides lors de la cristallisation semble expliquer ces anomalies.

### D) La Pétrogenèse des formations volcaniques.

L'évolution magmatique de la série andésitique des provinces méridionales alpines a été régie :

par la cristallisation fractionnée d'un liquide primaire dont on ne connaît pas la composition exacte. On n'a jamais trouvé de basaltes.

On peut, cependant, supposer que la composition parentale devait être proche de celle d'un basalte alumineux dont les enclaves gabbroïques des andésites seraient l'équivalent grenu.

- La ségrégation gravitative ne semble pas avoir joué un rôle important dans la différenciation.

Certaines enclaves gabbroïques, riches en amphibole et présentant des teneurs en Titane très élevées (supérieures à 3%) sont le résultat de phénomènes d'accumulation.

- Les mélanges magmatiques sont rares. L'étude de la typologie du zircon accessoire a permis de montrer des phénomènes de "mixing" entre des liquides dacitiques et rhyodacitiques dans certaines estrellites.

- Les températures de cristallisation obtenues sur des andésites basiques par le géothermomètre OPX-CPX varient de 1040°C à 980°C.

Les températures de cristallisation obtenues sur des rhyodécites à biotite par couplage des géothermomètres plagioclase-verre et zircon sont de 650°C pour la formation du dernier front de croissance des cristaux de feldspath.

- La cristallisation s'est faite sous une pression d'eau élevée comprise entre 1 Kb et 4 Kb.

Les dacitoïdes de l'Estérel ont cristallisé sous des pressions d'eau d'environ 4 Kb. Dans ces roches  $P_{\text{H}_2\text{O}}$  était alors supérieure à la pression totale car les estérellites se sont mises en place très proche de la surface.



- La présence de grenats primaires au coeur des phénocristaux de plagioclase de l'estérellite témoigne de l'apparition des premières phases minéralogiques à des pressions supérieures à 10 Kb, c'est-à-dire dans la partie supérieure du manteau ou à la base de la croûte sialique, en présence d' $H_2O$ .

- L'ensemble de ces données nous a conduits à proposer un modèle pétrogénétique dans lequel une fusion partielle du manteau supérieur pourrait produire :

- \* un liquide à composition d'andésite basique à olivine (à des profondeurs d'environ 20 km, en base de la croûte sialique) donnant des andésites et des dacites,
- \* un liquide à composition d'andésite basique où fractionnerait l'amphibole pargasitique et le grenat, donnant la série des estérellites et les enclaves gabbroïques associées.

L'association d'andésites et de shoshonites semble indiquer une influence de la croûte continentale dans la magmatogenèse andésitique.

#### E) Signification géodynamique du volcanisme.

La présence de deux volcanismes calco-alcalins contemporains, l'un dans les zones internes et l'autre dans les zones externes de la chaîne pose un problème.

La subduction du domaine océanique Piémontais sous la plaque Sud-Alpine était responsable, dans le modèle classique de collision du volcanisme calco-alcalin d'Italie du Nord.

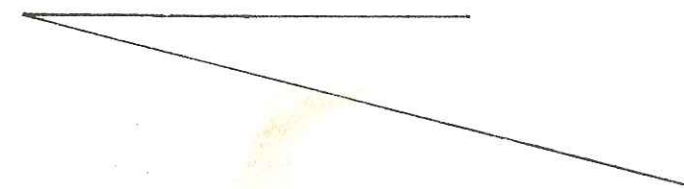
On ne pouvait, cependant, dans un tel modèle expliquer le volcanisme calco-alcalin de même âge dans les zones occidentales externes des Alpes.

Nous proposons un modèle géodynamique dans lequel le volcanisme calco-alcalin paléogène est lié à la subduction du domaine océanique piémontais.

La subduction du domaine piémontais se serait faite vers l'Est, sous la plaque Sud Alpine et aurait induit le volcanisme andésitique de Biella.

Des fragments de l'"océan piémontais" auraient été entraînés sous la plaque Européenne par la collision des deux plaques continentales.

Leur enfouissement post-collision serait responsable du volcanisme calco-alcalin des régions occidentales.





## REFERENCES

## BIBLIOGRAPHIQUES

- Ahrend, H. (1972) . - Zur Stratigraphie, Petrographie und zum tektonischen Aufbau der Canavese Zone und ihrer Lage zur insubrischen Linie zwischen Biella und Cuorgne (Nord Italien) Göttingen Arb. Géol. und Paläontol. t. 11, p. 1 à 89
- Alsac, C., Bocquet, J., Bodelle, J. (1969) . - Les roches volcaniques tertiaires du synclinal de Saint - Antonin (Alpes Maritimes). Bull. B.R.G.M. Sect. I, (3), p. 45 à 56.
- Allègre, C.J., Javoy, M., Michard, G. (1968) . - Etude de la distribution et de l'abondance des éléments de transition dans l'écorce terrestre comparées à celles des terres rares. In Origin and Distribution of the elements (L.H. Ahrens Ed. ) Pergamon Press, p. 913-928.
- Alvarez, W. (1972) . - Rotation of the Corsica - Sardinia microplate. Nature, 235 p. 103-105.
- Amstutz, A. (1976) . - Subductions cisillantes et créations de nappes sans racines dès l'origine. C.R. Acad. Sc. Paris, t. 283, p. 1277-1280
- Andriambololona, R. (1976) . - Les éléments de transition dans les suites andésitiques et shoshonitiques du Sud du Pérou. Thèse Spécialité, Université de Montpellier, 88 pages.
- Antoine, P., Loubat, H., Vatin-Pérignon, N. (1973) . - Hypothèses nouvelles sur l'origine et la signification des "ophiolites" du domaine pennique externe (Savoie, Valais). Géol. Alpine, Grenoble t. 49, p. 21 - 39.
- Aoki, K., Kuno, H. (1972) . - Gabbro, Quartz-Diorite inclusions from Izu - Hakone région, Japan. Bull. Volcanol. XXXVI, 1, p. 164 - 173.
- Arbey, F., Clocchiatti, R., Gigot, P., Gubler, Y., Le Tendre, L., Rivière, M. (1976) . - Découverte de cinérites dans les formations continentales carbonatées du Stampien, dans le Bassin de Manosque-Forcalquier (Alpes de Haute Provence). C.R. Acad. Sc. Paris, série D, t. 282 p. 1093 - 1095.
- Barbier, R., Michel, M. (1958) . - Découverte d'une roche volcanique (andésite) dans la zone du flysch des Aiguilles d'Arves. Bull. Soc. Géol. Fr. (6), VIII . = p. 709 - 714
- Baubron, J.C. (1974) . - Etude de l'évolution magmatique des formations calco - alcalines tertiaires de Provence et de Haute Provence par la géochimie du Rubidium et du Strontium. Rapport B.R.G.M. n° 74 S.G.N. 003 LAB. 37 pages.
- Bayer, R., Le Mouél, J.L., Le Pichon, X. (1973) . - Magnetic anomaly pattern in the western Méditerranéen. Earth Planetary Sciences Letters, 19, p. 168 - 176.
- Beaudoin, B., Campredon, R., Franco, M., Giannerini, G., Gigot, P., Grandjacquet, C., Haccard, D., Lanteaume, M., Spini, H., Tapoul, J.F. (1977) . - Age et modalité de plissement des chaînes sub-alpines méridionales. 5ème Réunion Annuelle des Sciences de la Terre, Rennes.
- Bébien, J. (1980) . - A propos de nodules plutoniques à texture de cumulat émis par certains volcans. Eléments nouveaux résultant de la découverte de nodules gabbroïques dans le complexe filonien du cortège ophiolitique de Guévguéli (Macédoine Grecque). C.R. Acad. Sc. Paris, t. 290, série D, p. 943 - 945.
- Bellair, P. (1957) . - Le volcanisme nummulitique du Champsaur. C.R. Acad. Sc. Paris, t. 245, série D, p. 2515 - 2517.



- Bellon, H. (1976) . - Séries magmatiques néogènes et quaternaires du pourtour méditerranéen occidental comparées dans leur cadre géochronométrique. Implications géodynamiques. Thèse de Doctorat d'Etat, Paris (Orsay) 367 pages.
- Bellon, H., Brousse, R. (1971) . - L'âge oligo - miocène du volcanisme ligure. C.R. Acad. Sc. Paris, t. 272, série D, p. 3109 - 3111.
- Bellon, H., Brousse, R. (1977) . - Le magmatisme périméditerranéen occidental. Essai de synthèse. Bull. Soc. Géol. France 7ème Série, t. XIX n° 3, p. 469 - 480.
- Bertrand, L. (1898) . - Etude géologique du Nord des Alpes Maritimes. Bull. Serv. Carte Géol. France, 9, n° 56 p. 1 - 212.
- Bertrand, L. (1901) . - Eruptions miocènes. Essai d'interprétation de la structure du Sud des Alpes Maritimes. C.R. des Coll. Serv. Car. Géol. France, p. 190 - 192.
- Biju - Duval, J. (1953) . - Description géologique du synclinal de Saint - Antonin et du dôme d'Amirat. Diplôme d'Etudes Supérieures, Paris (inédit).
- Blondeau, A., Bordet, P., Ginsburg, L. (1969) . - Observations nouvelles sur l'Eocène marin de la région de Vence (Alpes Maritimes). C.R. Somm. Soc. Géol. France, Fasc. 4, p. 114 - 115.
- Boeuf, S., Biju - Duval, B., Gubler, Y. (1961) . - Les formations volcano détritiques du tertiaire de Thônes (Savoie), du Champsaur (Hautes Alpes) et de Clumanc (Basses Alpes). Trav. Lab. Géol. Grenoble, t. 37 p. 143 - 155.
- Boeuf, S. (1959) . - Contribution à l'étude géologique du Massif de Soleil Boeuf (Hautes Alpes). Diplôme E.N.S.P.M., Grenoble (Inédit).
- Boettcher, A.L. (1973) . - Volcanism and orogenic belts. The origin of andesites. Tectonophysics, 17, p. 223 - 240.
- Bodelle, J. (1971) . - Les formations nummulitiques de l'arc de Castellane. Thèse de Doctorat d'Etat, Université de Nice, 580p plus annexes, 2 vol.
- Boccaletti, M., Elter, P., Guazzone, G. (1971) . - Plate tectonic models of the development of the western Alps and Northern Apennines. Nature Phys. Sci., 234 p. 108 - 111.
- Bonin, B., Lameyre, J., Giret, A. (1982) . - Coupures dans les suites magmatiques. Classifications modales et effet biotite. 9ème Réunion Annuelle des Sciences de la Terre, Paris.
- Bonin, B. (1980) . - Les complexes alcalins anorogéniques continentaux: l'exemple de la Corse. Thèse de Doctorat d'Etat, Université de Paris VI, 756 pages.

- Bordet, P. (1951) . - Etude géologique et pétrographique de l'Estérel. Mém. Soc. Géol. France (2), t. III.
- Bottinga, Y., Kudo, A., Weill, D. (1966) Some observations on oscillatory zoning of magmatic plagioclase. Amer. Miner., 51 p. 792 - 806.
- Boucarut, M., Bodelle, J. (1969) . - Les conglomérats du synclinal de Saint - Antonin (Alpes Maritimes). Etude pétrographique des galets de roches métamorphiques et éruptives. Conséquences paléogéographiques. Bull. B.R.G.M., 2ème Série, sect. I, n° 3 p. 57 - 75.
- Boucarut, M. (1971) . - Arguments en faveur de l'existence d'un réseau de fractures crustales d'âge alpin en Provence. Leurs relations avec le volcanisme de même âge. 2ème Réunion Annuelle des Sciences de la Terre, Pont à Mousson.
- Boucarut, M. (1971) . - Etude volcanologique et géologique de l'Estérel. Thèse de Doctorat d'Etat, Université de Nice, 487p.
- Bourcart, J., Ottmann, F. (1954) . - Pliocène et Quaternaire des feuilles de Nice et d'Antibes au 1/50.000. Bull. Serv. Carte Géol. France (241), 52 p. 321 - 329.
- Bourcart, J., Le Calvez, Y., Siffre, M. (1959) . - Du nouveau sur l'âge des tufs volcaniques du pays niçois. Bull. Soc. Géol. France (7), I p. 551 - 554.
- Bourcart, J. (1960) . - Galets anciens dans les cinérites du Cap d'Ail. Bull. Soc. Géol. France (7), 2 p. 38 - 40.
- Bourcart, J., Siffre, M., Robert, P.C. (1960) . - Dépôt de cendres du volcan sous - marin au large de Nice. C.R. Acad. Sc. Paris, série D, t. 251, p. 1106.
- Bourcart, J., Damiani, L., Vernet, J., Le Calvez, Y. (1963) . - Observations nouvelles sur la région du Cap d'Ail. Bull. Soc. Géol. France, (7) V, p. 708 - 714.
- Brousse, R. (1961) . - Analyses chimiques des roches volcaniques tertiaires et quaternaires de la France. Bull. Serv. Carte Géol. France, LVIII, n° 263.
- Brousse, R. (1974) . - Le volcanisme en France. in "Volcanisme et phénomènes associés". Journées d'Aurillac 15 et 16 Mai 1974. Edit. Revue de la Haute Auvergne. t. 44, p. 221 - 242.
- Brousse, R., Bizouard, H., Salat, J. (1972) . - Grenats des andésites et des rhyolites de Slovaquie. Origine des grenats dans les séries andésitiques. Contr. to Miner. and Petrol., 35, p. 201 - 213.
- Buddington, A.F., Lindsley, D.H. (1964) . - Iron titanium oxide minerals and synthetic equivalents. Journ. of Petrol., 5, p. 310 - 357.



- Caby, R. (1973) . - Les plis transversaux dans les Alpes Occidentales. Implications pour la genèse de la chaîne alpine.  
Bull. Soc. Géol. France, (7), XV n° 5-6 p. 624
- Caby, R., Kienast, J.R., Saliot, P. (1978) . - Structure, métamorphisme et modèle d'évolution tectonique des Alpes Occidentales.  
Rev. Géogr. Phys. et Géol. Dyn., vol. XX, Fasc. 4, p. 307 - 323.
- Camus, G., de Goer de Hervé, A., Kieffer, G., Mergoil, J., Vincent, P.M. (1975). - Volcanologie de la Chaîne des Puys.  
Carte et notice explicative  
Editions du Parc Naturel des Volcans d'Auvergne (Clermont - Ferrand)
- Carfantan, J.C. (1975) . - Les terrains ante oxfordiens de la chaîne du Charvin (Haute Savoie).  
Annales du Centre Universitaire de Savoie, t. II, Sc.Nat. p; 59-67.
- Carmichael, I.S.E. (1963) . - The cristallization of feldspar in volcanic acid liquids.  
Quart. Journ. Geol. Soc. London, 119, p. 95-131.
- Carmichael, I.S.E. (1967) . - The Iron - Titanium oxides of sialic volcanic rocks and their associated ferro - magnesian silicates.  
Contr.to Miner. and Petrol., 14, p. 36 - 64.
- Carmichael, I.S.E., Nicholls, J. (1967) . - Iron - Titanium oxides and oxygen fugacities in volcanic rocks.  
Journ. Geoph. Res., 72, p. 4665 - 4687.
- Caruba, C. (1971) . - Les minéraux accessoires de l'Estérelite et de quelques roches acides et basiques de l'Estérel (Var).  
Thèse Spécialité, Université de Nice, 117p. plus annexes, 2 vol.
- Caziot (Commandant), (1906) . - Les labradorites des Alpes Maritimes.  
Feuille des Jeunes Naturalistes, p. 36 - 38. Ed. Biblio. de France.
- Celal Sengör, A.M., Monod, O. (1980) . - Océans sialiques et collisions continentales.  
C.R. Acad. Sc. Paris, t.290, série D., p. 1459 - 1462.
- Chambrun de Rosemont (1873). - Etudes géologiques sur le Var et le Rhône pendant les périodes tertiaires et quaternaires.  
in Caziot (1906) voir plus haut.
- Chayes, F. (1979) . - The chemical composition of cenozoic andesites.  
Proceed. Andesite Conf. Int. Upper Mantle Proj. Sci. Rep. (16) p. 1 - 11.
- Clocchiati, R. (1978) . - Communication orale.
- Cloos, H.C. (1941) . - Bau und Tätigkeit von tuffschloten.  
Geol. Rundschau - Band XXXII, Heft 6-8 p. 708 - 800.
- Colacicchi, R. (1959) . - Dicchi sedimentari del Flysch oligo-miocenico della Sicilia Nord-Orientale.  
Eclogae Geol. Helveticae, 51 2, p. 901 - 916.
- Coulon, C., Maury, R.C. (1980) . - Pétrologie des laves tholéitiques de l'île de Tanna (Nouvelles Hébrides).  
Importance des phénomènes cumulatifs dans le volcanisme d'arc insulaire.  
8ème Réunion Annuelle des Sciences de la Terre, Marseille.

- Coulon, C. (1977) . - Le volcanisme calco - alcalin cénozoïque de Sardaigne (Italie).  
Pétrographie, géochimie et genèse des laves andésitiques et des ignimbrites.  
Signification géodynamique.  
Thèse de Doctorat d'Etat, Université d'Aix - Marseille III, 370p plus annexes.
- Dal Piaz, G.V., Venturelli, G., Scolari, A., (1979) . - Calc - Alkaline to ultra potassic post collisional volcanic activity in the internal North Western Alps.  
Mem. Ist. Geol. Miner. Università di Padova - Vol. 32, p. 4 - 16.
- Dardeau, G. (1983) . - Communication orale, Nice.
- Debelmas, J. (1975) . - Les Alpes et la théorie des plaques.  
Rev. Géogr. Phys. et Géol. Dyn., (2), XVII, Fasc. 3, p. 195 - 208.
- Debelmas, J., Bonin, J., Caron, J.M., Demarcq, G., Desmons, J., Giraud, P., Guieu, G., Irr, F., Kerkhove, C., Lemoine, M., Montjuvent, G., Philip, J., Rousset, C., (1980)  
Alpes, Bassin Rhodanien, Provence, Corse. In "FRANCE, - Introduction à la géologie du Sud - Est. 26è Congrès Géologique International, Paris. 249p.
- Deer, W.A., Howie R.A., Zussman, J. (1967) . - Rock forming minerals.  
5 vol. Longmans Ed. Londres.
- Deicha, G. (1947). - Silicification des failles aux environs de Biot.  
Comm. orale, Bull. Soc. Géol. France, p.11 - 13.
- De Lapparent, A.F. (1938) . - Etudes géologiques dans les régions provençales et alpines entre le Var et la Durance.  
Bull. Serv. Carte Géol. France, XL, n° 198.
- Demant, A. (1972) . - Contribution à l'étude du volcanisme tertiaire de la Sardaigne Nord Occidentale: Le Cycle " andésitique" terminal (Région de Mara - Romana).  
Thèse Spécialité. Université d'Aix - Marseille III. 113p.
- Demant, A. (1980) . - L'axe néovolcanique transmexicain. Etude volcanologique et pétrographique.  
Signification géodynamique.  
Thèse de Doctorat d'Etat. Université d'Aix - Marseille III. 203p.
- Deperet, Ch., Guebard, A. (1902). - Sur l'âge des labradorites de Biot.  
Bull. Soc. Géol. France (4), (II) p. 885 - 899.
- Deruelle, B. (1978) . - Calc - Alkaline and shoshonitic lavas from five andean volcanoes (between latitudes 21°45' et 24°30'S) and the distribution of the Plio-Quaternary volcanism of the south central and southern Andes.  
Journ. of Volc. and Geotherm. Research, (3), p. 281 - 298.
- Dewey, J.F., Bird, J.M., (1970) . - Mountain belts and the new global tectonics.  
Journ. of Geophys. Research, (75), p. 2625 - 2647.



- Dewey, J.F., Pitman, W.C., Ryan, W.G.F., Bonnin J. (1973) .- Plate tectonic and the evolution of the alpine system.  
Geol. Soc. Amer. Bull. , (84) p. 3137 - 3180
- Dickinson, W.R., Haterton, T. (1967) .- Andesitic volcanism and seismicity around the Pacific.  
Science, 157 p. 801 - 803.
- Didier, J., Lameyre, J. ( 1978 ).- Les brèches volcaniques du Merdassier (Synclinal de Thônes) , élément nouveau dans le débat dans le débat sur l'origine des gés de Taveyenne.  
C.R. Acad. Sc. Paris, t. 286, série D, p.583 - 585.
- Didier, J. (1964) .- Etude pétrographique des enclaves de quelques granites du Massif Central Français.  
Ann. Fac. Sc. Clermont Ferrand , n° 23, 254 p.
- Diétrich, J.E. (1979) .- Communication orale, Nice.
- Donnelly, T.W. , Rogers, J.J.W. (1980) .- Igneous series in Island Arcs. The Northeastern Caribbean volcanism compared with worldwide Island Arc assemblages.  
Bull. Volcano. Special Issue , vol. 43, n° 2, p.347 - 382.
- Doudoux, B. , Mercier de Lépinay, B., Tardy, M. (1982). - Une interprétation nouvelle de la structure des Massifs sub-alpins savoyards ( Alpes Occidentales): nappes de charriage Oligocènes et déformations superposées.  
C.R.Acad.Sc. Paris, t. 295, série II, p. 63 - 68.
- Duplaix, S., Gennesseaux, M. (1966) .- Preuves minéralogiques de manifestations volcaniques dès l'Eocène supérieur dans les Alpes Maritimes.  
C.R.Acad.Sc. Paris, t.262, n° 24 p. 2424 - 2426.
- Dupuy, C. , Dostal, J., Fratta, M., (1982) .- Geochemistry of the Adamello Massif, (Northern Ital ).  
Contr. to Miner. and Petrol. p. 41 - 48
- Dupuy, C. , Lefèvre, C. (1974) .- Fractionnement des éléments en traces Li, Rb, Ba, Sr, dans les séries andésitiques et shoshonitiques du Pérou. Comparaison avec d'autres zones orogéniques.  
Contr. to Miner. and Petrol. , 46 p. 147 - 157.
- Eggler, D.H., Burnham, C.W. (1973) .- Crystallization and fractionation trends in the system Andesite - H<sub>2</sub>O - CO<sub>2</sub> - O<sub>2</sub> at pressures to 10 Kb.  
Geol. Soc. of Amer. Bull. v. 84 p. 2517 - 2532.

- Eggler, D.H. , (1972) .- Water - saturated and unsaturated melting relations in a Paricutin Andesite and an estimate of water content in the natural magma.  
Contr. to Miner. and Petrol, 34 , p. 261 - 271.
- Ernst, W.G. (1971) .- Metamorphic zonation on presumably subducted lithospheric plates from Japan, California and the Alps.  
Contr. to Miner. and Petrol, vol. 34 p. 43 - 49.
- Ewart, A. (1976) .- Mineralogy and Chemistry of modern orogenic lavas. Some statistics and implications.  
Earth, Planet. Sci.Lett. (31) p.417 - 432.
- Ewart, A., Bryan, W.B., Gill, J.B. (1973) .- Mineralogie and geochemistry of the younger volcanic Island of Tonga, S.W. Pacific.  
Journ.of.Petrol. (14) p.489 - 508.
- Ewart, A., Stipp, J.J. (1968) .- Petrogenesis of the volcanic Rocks of the Central North Island, New Zealand, as indicated by a study of 87Sr/86Sr ratios and Sr, Rb, K, U and Th abundances.  
Geoch. Cosmoch.Acta , 32 p. 699 - 796.
- Fabriès, J. (1963) .- Les formations cristallines et métamorphiques du Nord Est de la Province de Séville (Espagne). Essai sur le métamorphisme des roches éruptives basiques.  
Thèse de Doctorat d'Etat, Université de Nancy, 267p.
- Fernandez, A., Hörmann, P.K., Kussmaul, S. , Meave, J., Pichler, H., Subieta, T. (1973).- First petrologic data on young volcanic rocks of S.W. Bolivia.  
Tsch.Min.Petr. Mitt. , (19) p. 149 - 172.
- Fisher, R.V. (1961) .- Proposed classification of volcanoclastic sediments and rocks.  
Geol.Soc. of Amer. Bull. (72) p. 1409 - 1414.
- Fisher, R.V, Heiken, G. (1982) .- Montagne Pelée, Martinique , May 8. and 20., 1902, pyroclastic flows and surges.  
Journ of Volc. and Geotherm. Research, 13, (3 - 4) p.339 - 373.
- Fontignie, D. (1981) .- Géochronologie des galets andésitiques du conglomérat des grés du Val d'Iliez du synclinal de Thônes (Haute - Savoie).  
Schweitz, Miner. Petrogr. Mitt. (61) p. 81 - 96.
- Foster, M.D. (1960) .- Interpretation of the composition of trioctahedral micas.  
U.S. Geol. Survey Prof. Papers, 354 B p. 1- 49.
- Franco, M. (1982) .- Etude géologique de la bordure des chaînes sub-alpines méridionales entre Saint Vallier de Thieu et Thorenc (Alpes - Maritimes).  
Thèse Spécialité , Université de Nice, 159 p.
- Fujimaki, H. (1982) .- Basalt produced by mechanical mixing of andesite magma and gabbroic fragments : Hakone volcano and adjacent areas, Central Japan.  
Journ. of Volc. and Geotherm. Research, (12) p.111 - 132.



- Fuller, R.E. (1928) .- The Asotin crater of the Columbia River basalt.  
Journ. of Geol. (36) p. 56 - 74.
- Christi, C. (1982) .- Le Volcanisme tertiaire du secteur de la Villa Maure (Alpes Maritimes).  
Diplôme d'Etudes Approfondies, Université de Paris Sud (Orsay) inédit.
- Gianmerini, G. (1978) .- Contribution à l'étude géologique de la bordure méridionale de l'arc de Castellane entre Mons et Bargème. Relations entre les déformations et la sédimentation au cours du Tertiaire.  
Thèse Spécialité, Université de Nice, 285 p.
- Gigot, P. (1974) .- Présence de couches infra - miocènes à microcodium à la marge orientale du bassin tertiaire de Digne.  
C.R.Acad. Sc. Paris, t.278, n° 17 p. 2087 - 2090.
- Gill, J.B. (1970) .- Geochemistry of Viti Lavu, Fiji, and its evolution as an Island Arc.  
Contr. to Miner. and Petrol. (43) p. 29 - 45.
- Ginsburg, L. (1956) .- Sur l'âge des conglomérats andésitiques du Sud des Alpes Maritimes.  
Bull. Soc. Géol. France, p. 162 - 164.
- Ginsburg, L. (1964) .- Sur l'âge des tufs cinéritiques de la région de Biot.  
Bull. Soc. Géol. France, p. 157 - 158.
- Giraud, J.-D. (1976) .- Sur l'existence de laves calco - alcalines dans la région niçoise (district ligure).  
C.R. Acad.Sc. Paris, t. 282, série D p. 2037-2039.
- Giraud, J.-D., Boyer, C., Bellon, H., Turco, G. (1978) .- Dynamique du volcanisme ligure dans les secteurs de Biot et de Villeneuve - Loubet (Alpes - Maritimes).  
6ème Réunion annuelle des sciences de la Terre - Orsay.
- Giraud, J.-D., Turco, G. (1979) .- Dynamique du volcanisme ligure. Signification dans la tectogenèse alpine.  
C.R.Acad.Sc. Paris, t.289, série D. p. 73 - 76.
- Giraud, J.-D., Le Guern, M., Turco, G. (1979) .- Contexte tectonique du volcanisme andésitique tertiaire du synclinal de Saint - Antonin (Alpes de Haute Provence, France).  
C.R.Acad.Sc. Paris, t.289, série D, p. 715 - 718.
- Giraud, J.-D., Bellon, H., Turco, G. (1979) .- L'intrusion microdioritique tertiaire d'Alghero (Sardaigne) Age K/Ar et relation avec le magmatisme calco - alcalin sarde. Analogies avec les estérellites de l'Estérel (Var).  
C.R.Acad.Sc. Paris, t. 288, série D. p.9-12.
- Giraud, J.-D., Pupin, J.P., Turco, G. (1979) La microdiorite quartzique d'Alghero (Sardaigne). Relations avec le volcanisme calco-alcalin cénozoïque sarde.  
7ème Réunion annuelle des sciences de la terre, Lyon.
- Giraud, J.-D., Pupin, J.-P., Turco, G. (1980) .- Caractères morphologiques du zircon dans les séries volcaniques calco - alcalines d'après l'exemple ligure - sarde. Implications pétrogénétiques.  
C.R.Acad.Sc. Paris, t. 290, série D. , p.823 - 826.

- Giraud, J.-D., Turco, G. (1981) .- Données nouvelles sur le porphyre bleu de l'Estérel.  
Recherches minéralogiques et pétrologiques.  
C.R. 106ème Congrès des Sociétés Savantes, sciences, Fasc.III  
p.363 - 374.
- Giraud, J.-D., Turco, G. (1981) .- Contexte tectogénétique du magmatisme calco-alcalin oligocène du Sud - Est français (district ligure-provençal). Modèle de mise en place du volcanisme.  
C.R.Acad.Sc. Paris, t. 292, série II, p. 75 - 78.
- Giraud, J.-D., Didier, J. (1981) .- Présence de manifestations volcaniques autochtones à la base des grès de Taveyanne du secteur de Flaine l'Arbaron (Haute Savoie, France).  
C.R.Acad.Sc. Paris, t. 292, série II, p.369 - 372.
- Giraud, J.-D., (1983) .- Les enclaves gabbroïques, dioritiques et trondjhémiques rencontrées dans les roches volcaniques calco - alcalines : l'exemple ligure - provençal (Sud - Est français).  
C.R.Acad.Sc. Paris, t. 296, série II p. 635 - 638.
- Giraud, J.-D. (1975) .- Une intrusion calco - alcaline type, l'Estérellite Position dans le contexte du volcanisme tertiaire régional.  
Thèse Spécialité, Université de Nice, 184p.
- Girod, M., Girod, N. (1977) .- Contribution de la pétrologie à la connaissance de l'évolution de la méditerranée occidentale depuis l'Oligocène.  
Bull.Soc.Géol. France (7) t. XIX n° 3 p. 481 - 488.
- Glangeaud L., Agarate, C., Bellaiche, G., Pautot, G. (1965) .- Morphotectonique de la terminaison orientale des Maures et de l'Estérel.  
C.R.Ac.Sc. Paris, t. 261, Groupe 10, p. 4795 - 4798.
- Goguel, J. (1952) .- Volcanisme d'âge tertiaire dans le synclinal de Saint - Antonin (Alpes - Maritimes).  
C.R.Acad.Sc. Paris, t.234 n°22 p.2211 - 2212.
- Green, N.L. (1981) .- Co - existing calcic amphiboles in calc - alkaline andesites: Possible evidence of a zoned magma chamber.  
Journ of Volc. and Geotherm. Research, (12), p. 57 - 76.
- Green, T.H. (1972) .- Crystallization of calc - alkaline andesite under controlled High pressure Hydrous conditions.  
Contr. Mineral. and Petrol. (34), p. 150 - 166.
- Green, T.H., Ringwood, A.E. (1967) .- The genesis of basaltic magmas.  
Contr.Mineral. and Pétrol. (15), p. 103 - 190.
- Green, T.H., Ringwood, A.E. (1968) .- Genesis of the calc - alkaline igneous rock suite.  
Contr.Mineral. and Petrol. (18), p. 105 - 162.
- Green, T.H., Ringwood, A.E. (1968) .- Origin of garnet phenocrysts in calc-alkaline rocks.  
Contr.Mineral. and Petrol. (18), p. 163 - 174.
- Gübler, Y. (1958) .- Etude critique des sources du matériel constituant certaines séries détritiques dans le tertiaire des Alpes françaises du Sud. Formations détritiques de Barrême et flysch grès d'Annot.  
Eclog. Geol. Helveticae vol. (51) n° 3 (1958) p. 942 - 977.



- Gunn, B.M., Roobol, M.J., Smith, A.L. (1974). - Petrochemistry of the Pelean - type volcanoes of Martinique.  
Geol. Soc. of Amer. Bull. (85) p. 1023 - 1030.
- Hamilton, W. (1964). - Origin of high alumina basalt, andesite and dacite magmas.  
Science, (146) p. 634 - 637.
- Hamm, H.M., Vieten, K. (1971). - Zur Berechnung der kristallchemischen Formel und des Fe<sup>3+</sup> Gehaltes von Klinopyroxenen aus Elektronstrahl-Mikroanalysen.  
Neues Jahrbuch für Mineral. p. 310 - 314.
- Heiken, G. (1972). - Morphology and petrography of volcanic ashes.  
Geol. Soc. of Amer. Bull. (83) p. 1961 - 1988.
- Hirn, A. (1976). - Sondages sismiques profonds en France.  
Bull. Soc. Geol. France (7), VIII, n°5, p. 1065 - 1071.
- Homma, F. (1932). - Über das Ergebnis von Messungen ein zonaren Plagioclase aus Andesiten mit Hilfe des Universaldrehtisches.  
Schw. Mineral. und Petrog. Mitt. (12) p. 345 - 352.
- Hörmann, P.K., Pichler, H., Zeil, W. (1973). - New data on the young volcanism in the Puna of N-W. Argentina.  
Geol. Rundschau, (62), p. 397 - 418.
- Irr, F. (1973). - Sur le caractère synsédimentaire des phénomènes volcaniques dans la molasse du bassin miocène de Vence, (Alpes - Maritimes).  
C.R. Acad. Sc. Paris, t. 277 série D, p. 1275 - 1278.
- Ivaldi, J.P. (1973). - Contribution de la thermoluminescence à l'étude des séries "Grès d'Annot". Origine du matériel détritique. Conséquences paléogéographiques.  
Thèse spécialité, Université de Nice.
- Jakes, P., White, A.J.R. (1969). - Structure of Melanesian Arcs and correlation with distribution of magma types.  
Tectonophysics, (8), p. 223 - 236.
- Jakes, P., Smith, I.E. (1970). - High potassium calc - alkaline rocks from Cape Nelson, Eastern Papua.  
Contr. Mineral. and Petrol. (28), p. 259 - 271.
- Jakes, P., White, A.J.R. (1971). - Composition of island arcs and continental growth.  
Earth Planet. Sc. Letters (12), p. 224 - 230.
- James, R.S., Hamilton, D.L. (1969). - Phase relations in the system NaAl Si<sub>3</sub>O<sub>8</sub> - KAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub> SiO<sub>2</sub> at 1 Kb. water vapour pressure.  
Contr. Miner. and Petrol. (21) p. 111 - 141.
- Joplin, G.A. (1968). - The shoshonite association. A review.  
Journ. Geol. Soc. Australia (15) p. 275 - 294.
- Kudo, A., Weill, D.F. (1970). - An igneous plagioclase thermometer.  
Contr. Mineral. and Petrol. (25) p. 52 - 65.

- Kuno, H. (1959). - Origin of cenozoic petrographic provinces of Japan and surrounding areas.  
Bull. Volcano. (20) p. 37 - 76.
- Kuno, H. (1960). - High alumina basalts.  
Journ. of Petrol. (I) p. 121 - 145.
- Kuno, H. (1968). - Differentiation of basalt magma.  
In "Basalts": The Poldervaart Treatise on rocks of basaltic composition.  
Wiley and Sons Ed. London
- Kuno, H. (1969). - Andesite in time and space.  
Proceed. Andesite Conf. Intern. Upper Mantle Project, Scientific Report, (16) p. 13 - 20 State of Oregon.
- Kushiro, I., Yoder, H.S. (1969). - Melting of forsterite and enstatite at high pressures under hydrous conditions.  
Carnegie Inst. Washington, Year Book (67) p. 153 - 158.
- Lacroix, A. (1904). - La Montagne Pelée et ses éruptions.  
Masson et Cie. Paris, 662p.
- Lacroix, A. (1930). - Remarque sur les matériaux de projection dans les volcans et sur la genèse des produits pyroclastiques qu'ils constituent.  
Livre Jubilaire, Centenaire de la Soc. Géol. de France, vol. 2 p. 431-472.
- Lameyre, J., Bowden, P. (1982). - Plutonic rock types series: discrimination of various granitoid series and related rocks.  
Journ. of Geotherm. Research, (14) p. 169 - 186.
- Laubscher, H. (1971). - The large scale kinematics of the Western Alps and the Northern Apennines and its palinspastic implications.  
Amer. Journ. of Sc. 271, p. 193 - 226.
- Leake, B.E. (1978). - Nomenclature of amphiboles.  
The Canadian Miner. (16) p. 501 - 520.
- Leeman, W.P., Scheidegger, K.F. (1977). - Olivine / liquide distribution coefficients and a test for crystal liquid equilibrium.  
Earth Planet. Sc. Letters, (35) p. 247 - 257.
- Lefevre, C. (1974). - Relations volcanisme - zone de subduction.  
Les caractères magmatiques des roches volcaniques cénozoïques des Andes péruviennes.  
2ème Réunion annuelle des Sciences de la Terre, Pont à Mousson.



- Lefèvre C. (1979) .- Un exemple de volcanisme de marge active dans les Andes du Pérou (Sud) du Miocène à l'actuel (zonation et pétrogenèse des andésites et des shoshonites.)  
Thèse Doctorat d'Etat, Université des Sciences et Techniques du Languedoc Montpellier, 555p.
- Lefèvre, C. Dupuy, C., Coulon, C. (1974) .- Le volcanisme andésitique .  
in Volcanisme et phénomènes associés, Journées d'Aurillac, 15 et 16 Mai  
Revue de la Haute Auvergne Ed. t. 44 p. 313 - 355.
- Le Guern, M. (1979) .- Le volcanisme andésitique tertiaire du synclinal de Saint - Antonin.  
Position dans le contexte volcanique du Sud - Est de la France.  
Thèse de Spécialité, Université de Nice, 144p.
- Lemoine, M. (1971) .- Données nouvelles sur la série du Gondran.  
Géol. Alpine, Grenoble t. 472 p. 181 - 201.
- Lemoine, M. (1983) .- La marge continentale de l'Océan Téthysien.  
(à paraître)
- Leo, G.W., Hedge, C.E., Marvin, R.F. (1980) .- Geochemistry, Strontium isotope data and Potassium-Argon ages of the Andésite - Rhyolite association in the Padang area (West Sumatra).  
Journ. of Volc. and Geotherm. Research, (7) p. 139 - 156.
- Lepinay (Mercier de), B. (1981) .- Etude géologique de la région des Gets et de Samoens (Haute Savoie).  
Les rapports entre les Préalpes du Chablais (nappe de la Brèche et nappe des Gets et les unités delphino - helvétiques.  
Thèse de Spécialité, Université Pierre et Marie Curie, Paris. 217p.
- Leterrier, J., Marchal, M., Maury, R. (1980) .- Typologie des séries basaltiques à partir de la composition de leurs clinopyroxènes.  
Rapport annuel C.R.P.G. Nancy, XXIVème section, p. 34 - 37.
- Lévy, M. (1898) .- Mémoire sur le porphyre bleu de l'Estérel.  
Bull. Serv. Carte Géol. France, Topographies souterraines n°57, t. IX
- Lewis, J.F. (1971) .- Composition, origin and differentiation of basalt magma in the Lesser Antilles.  
Géol. Soc. of Amer. Mem. 130, p. 159 - 179
- Lorenz, V. (1973) .- On the formation of maars.  
Bull. Volcano. vol. 37, n° 2, p. 183 - 204.
- Mac Birney, A.R. (1969) .- Composition variations in cenozoic calc - alkaline suites of Central America.  
Proceed. of Andesite Conf. Int. Upper Mantle Proj. Sci. Report  
16, state of Oregon, p. 185-189.
- Mac Donald, G.A. (1967) .- Forms and structures of extrusive basaltic rocks.  
in "Basalts", The Poldervaart treatise on rocks of basaltic composition.  
J. Wiley and sons Ed. London, p. 1 - 61.
- Mac Donald, G.A. (1970) .- Volcanoes in the sea.  
The University Press of Hawaii.

- Mangan, C. (1982) .- Géologie et hydrogéologie karstique du bassin de la Brague et de ses bordures.  
Thèse Spécialité, Université de Nice - C.E.T. E. Aix en Provence.  
2vol. 184p. plus annexes.
- Martini, J. (1968) .- Etude pétrographique des grès de Taveyanne entre Arve et Giffre (Haute Savoie).  
Bull. Suisse de Minéralogie et Pétrographie, vol. 48/2 p. 539 - 654.
- Mattauer, M. (1978) .- Coupe des Alpes franco - italiennes à l'échelle des plaques.  
in France, introduction à la géologie du Sud Est  
26ème Congrès Géologique International, p. 53. Paris.
- Maury, R. (1971) .- Application de la spectrométrie infra - rouge à l'étude des bois fossilisés dans les formations volcaniques.  
Bull. Soc. Geol. France, (7), XIII, n° 5-6 p. 532 - 538.
- Maury, R. (1976) .- Evolution à haute température des matériaux organiques dans les formations volcaniques ou à leur contact.  
Bull. Centre de Rech. Pau, S.N.P.A., 10 Fasc. 1, p. 289 - 300.
- Maury, R. (1976) .- Contamination (par l'encaissant et les enclaves) et cristallisation fractionnée de séries volcaniques alcalines continentales (Massif Central Français) et océaniques (Pacifique central) : l'origine des laves acides.  
Thèse de Doctorat d'Etat, Université de Paris Sud, Orsay, 455p.
- Myashiro, A. (1974) .- Volcanic rocks series in island arcs and active continental margins.  
Amer. Mineral. Petrol., (66) n° 1 p. 91 - 104.
- Neumann, E.R. (1976) .- Two refinements for the calculation of structural formulae for pyroxenes and amphiboles.  
Norst Geologist Tidsskrift vol. 56 p. 1 - 6 Oslo
- Noack, Y., Crovisier, J.L. (1980) .- Evolution de la densité et de la réfractivité spécifique lors de l'altération sous-marine des verres basaltiques.  
Bull. Soc. Fr. Miner. et Cristallo. (103), p. 523 - 527.
- Noack, Y. (1981) .- La Palagonite: caractéristiques, facteurs d'évolution et mode de formation.  
Bull. Soc. Fr. Miner. et Cristallo. (104), p. 36-46.
- Nockolds, S.R. (1954) .- Average chemical composition of some igneous rocks.  
Geol. Soc. of Amer. Bull. (65) p. 1007 - 1032.
- Orszag - Sperber, F. (1978) .- Le Néogène de la Corse et ses relations avec la Géodynamique de la Méditerranée Occidentale.  
Thèse de Doctorat d'Etat, Université de Paris Sud (Orsay) 325p.



- Osborn, E.F. (1959) .- Role of oxygen pressure in the cristallization and differenciation of basaltic magma.  
Amer. Journ. of Sci. (257), p. 609 - 647.
- Pairis, B., Pairis, J.L. (1975) .- Précisions nouvelles sur le Tertiaire du Massif de Platé.  
Géol. Alpine, t. 51, p. 83 - 127.
- Palausi, G. (1973) .- Arbres silicifiés dans les andésites miocènes des Alpes Maritimes.  
Annales de la Société Scientifique et littéraire de Cannes et de l'arrondissement de Grasse. p. 1 à 3.
- Pautot, G. (1970) .- La marge continentale au large de l'Estérel (France) et les mouvements verticaux pliocènes.  
Marine. Geophys. Research. 1, p. 61 - 84).
- Peccerillo, A., Taylor, S.R. (1976) .- Geochemistry of eocene calc - alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey.  
Contr. Mineral. and Petrol. (58), p. 63 - 81.
- Fichler, H., Zeil, W. (1969) .- Andesites of the Chilean Andes.  
Proceed. of the Andesites Conf. Int. Sci. Report, 16  
state of Oregon, p. 165 - 174.
- Poldervaart, A., Hess, H.H. (1951) .- Pyroxenes in the cristallization of basaltic magmas.  
Journ. of Geol. (59) p. 472 - 489.
- Pupin, J.P., Turco, G. (1972) .- Une typologie originale du Zircon accessoire.  
Bull. Soc. Fr. de Miner. Cristallo., t. 95 p. 348 - 359.
- Pupin, J.P. (1972) .- Le zircon accessoire en géothermométrie.  
C.R. Acad. Sc. Paris, t. 274, série D, p. 2121 - 2124.
- Pupin, J.P. (1976) .- Signification des caractères morphologiques du Zircon commun des roches en Pétrologie. Base de la méthode typologique. Applications.  
Thèse de Doctorat d'Etat, Université de Nice, 394 p.
- Pupin, J.P., Bonin, B., Tessier, M., Turco, G. (1978) .- Role de l'eau sur les caractères morphologiques et la cristallisation du zircon dans les granitoïdes.  
Bull. Soc. Géol. France, t. XX, n° 5, p. 721 - 725.
- Pupin, J.P. (1980) .- Zircon and Granite Petrology.  
Contr. Mineral. and Petrol. (73) p. 207 - 220.
- Quin, J.P. (1962) .- Le zonage des plagioclases dans les Estérellites du Massif de l'Estérel.  
Thèse de troisième cycle, Paris.
- Recq, M. (1970) .- Courbes d'égale profondeur de la discontinuité de Mohorovicic en Provence.  
C.R. Acad. Sc. Paris, t. 270, série D. p. 11 - 14.
- Rehault, J.P. (1981) .- Evolution tectonique et sédimentaire du Bassin Ligure (Méditerranée occidentale).  
Thèse de Doctorat d'Etat, Université Pierre et Marie Curie, 2 vol. plus annexes.

- Rittmann, A. (1963) .- Les volcans et leur activité.  
Masson & Cie Edit., Paris, 461 p.
- Rivano, G. (1978) .- Contribution à l'étude géologique du S.E. du Massif des Bornes : la partie méridionale de la chaîne des Aravis entre le col des Aravis et la cluse de Faverges - Ugine.  
Thèse de Doctorat d'Etat, Université Pierre et Marie Curie, Paris. 195p.
- Robert, P.C. (1960) .- Contribution à l'étude pétrographique et paléovolcanologique des conglomérats volcaniques du Sud des Alpes - Maritimes.  
Diplôme d'Etudes Supérieures, Paris. 66p.
- Robin, C. (1981) .- Relations volcanologie - Magmatologie - Géodynamique.  
Application au passage entre volcanismes alcalin et andésitique dans le Sud Mexicain (Axe transmexicain et Province alcaline orientale).  
in Annales Scientifiques de l'Université de Clermont-Ferrand II Ed.  
Thèse Doctorat d'Etat, Université de Clermont - Ferrand II, 503p.
- Robyn, T.L. (1979) .- Miocene volcanism in eastern Oregon : an example of calc-alkaline volcanism unrelated to subduction.  
Journ. of Volc. and Geotherm. Research, 5 p. 149 - 161.
- Rose, W.I., Pearson, T., Bonis, S. (1977) .- Nuée ardente eruption from the foot of a dacite lava flow, Santiaguito Volcano, Guatemala.  
Bull. Volcano. vol. 40 - 1, p. 1 - 16.
- Rostan, P. (1981) .- Les végétaux fossiles des formations volcanosédimentaires de Biot (Alpes Maritimes).  
106ème Congrès national des Sociétés Savantes, Perpignan.  
Sciences, fasc. III p. 375 - 386.
- Rosset, J., Charollais, J., Gérard, J., Lacoste, M. (1971) .- Contribution à l'étude stratigraphique et tectonique du synclinal de Thônes.  
Géol. Alpine, t. 47, p. 223 - 231.
- Roubault, M., Bordet, P., Leutwein, F., Sonet, J., Zimmermann, J.L. (1970) .- Ages absolus des formations volcaniques du Tanneron - Estérel (Var).  
C.R. Acad. Sc. Paris, t. 271, série D, p. 1157 - 1160.
- Roux, M. (1972) .- Etude tectonique des chaînons subalpins entre Majastres et Castellane (Alpes de Haute Provence). Essai de reconnaissance des fracturations profondes majeures et de leurs conséquences au niveau de la couverture.  
Géol. Alpine, t. 48, p. 187 - 199.
- Sakuyama, M. (1978) .- Evidence of magma mixing. Petrological study of Shirouma - Oike calc-alkaline andesite volcano, Japan.  
Journ. of Volc. and Geotherm. Research, 5 p. 179 - 208.



- Sawatzky, G. (1975) . - Etude géologique et minéralogique des flyschs à grauwackes volcaniques du synclinal de Thônes .  
Thèse, Arch. Sci. Genève, vol. 28 p. 265 - 368.
- Siegers, A. , Pichler, H. (1969) . - Trace element abundances in the andesite formation of Northern Chile".  
Geoch. Cosmoch. Acta, 33 p. 882 - 887.
- Siffre, M. (1963) . - Contribution à l'étude des formations plioquaternaires des Alpes Maritimes.  
Bull. Soc. Géol. France (7), 5 p. 95 - 108.
- Smith, A.L. , Carmichael, I.S.E. (1968) . - Quaternary lavas from the southern Cascades Western U.S.A.  
Contr. Mineral. and Petrol. (19) p. 212 - 238.
- Sparks, R.S.J. , Sigurdsson, H. , Carey, S.N. (1980) . - The entrance of pyroclastic flows into the sea. Oceanographic and geologic evidence from Dominica (Lesser Antilles).  
Journ. of Volc. and Geotherm. Research, 7, p. 87 - 96.
- Stanley, D.J. (1980) . - The Saint Antonin conglomerate in the Maritime Alps. A model for coarse sedimentation on a submarine slope.  
Smithson. Contrib. to the Marine Sci. n°5 ,
- Stokes, K.R. (1971) . - Further investigations into the nature of the materials Chlorophaeite and Palagonite.  
Mineral. Magaz. vol. 38 p. 205 - 214.
- Sugimura, A. (1968) . - Spatial relations of basaltic magmas in island arc  
In "Basalts" : The Poldervaart Treatise on rocks of basaltic composition.  
p. 537 - 571, vol. 2
- Tapoul, J.F. (1977) . - Etude géologique de la bordure Sud-Orientale de l'Arc de Castellane entre le Loup et la Cagne (Alpes Maritimes).  
Thèse de Spécialité, Université de Nice. p.
- Taylor, S.R., White, A.J.R. (1966) . - Trace element abundances in andesites.  
Bull. Volcano. (29) p. 177 - 194.
- Taylor, S.R. , Cappa, C., Graham, A.L., Blake, D.H. (1969) . - Trace element abundances in andesites Saipan, Bougainville and Fiji.  
Contr. Mineral. and Petrol. (23) p. 1 - 16.
- Taylor, S.R. (1968) . - Geochemistry of andesites .  
in "Origin and distribution of the elements".  
L.H. Ahrens Ed. Pergamon Press. p. 560 - 583.
- Thorarinsson, S. (1953) . - The crater groups in Iceland.  
Bull. Volcano. ser. 2 (14) p. 3 - 44.

- Thornton, C.P., Tuttle, O.F. (1960) . - Chemistry of igneous rocks.  
I) Differentiation Index.  
Amer. Journ. of Sci. vol. 258, p. 664 - 684.
- Toumarkine, M., Bolli, H.M. . - Evolution de globorotalia cerroazulensis (Cole) dans l'Eocène (1970) moyen et supérieur de Possagno (Italie).
- Touré, S. (1981) . - Données nouvelles sur les formations détritiques de l'Arc de Castellane, Sud Est (a) de la France. (Conglomérats tertiaires des synclinaux de Saint-Antonin, Barrême et Majastre).  
Thèse Spécialité, Université de Nice, 290p.
- Touré, S., Giraud, J.D., Pupin, J.P. (1981) . - Contribution à l'étude des formations paléogènes sub-alpines. Origine des galets et gros blocs de granite du synclinal de Saint-Antonin (Alpes - Maritimes).  
C.R. Ac. Sc. Paris, t. 293, série II p. 691 - 694.
- Vernet, J. (1963) . - Remarques sur le Permien de l'Argentera et du Dôme de Barrot.  
Trav. Labo. Géol. Grenoble.
- Vernet, J. (1964) . - Sur le volcanisme du synclinal de Saint - Antonin (Alpes Maritimes) et sa place dans la série stratigraphique.  
C.R. Ac. Sc. Paris, t. 258, p. 6489 - 6490.
- Vernet, J. (1964) . - Poudingues tertiaires à blocs de granite du synclinal de Saint - Antonin.  
C.R. Ac. Sc. Paris, t. 258, série D. p. 6189 - 6191.
- Vitally, G. (1980) . - Etude géologique de deux manifestations du volcanisme paléogène des Alpes Franco - Italiennes: les grès de Taveyenne et les Porphyres de Biella.  
Thèse de Spécialité, Université de Brest. 183 p.
- Von Platen, H. (1965) . - Experimental anatexis and genesis of migmatites.  
In "Controls of metamorphism"  
Oliver and Boyd, Ed. London.
- Vuagnat, M. (1943) . - Les grès de Taveyannaz du Val d'Ille et leurs rapports avec les roches éruptives des Gêts.  
Bull. Suisse de Pétr. et Miner. vol. 23, H. 2, p. 353 - 437.
- Wager, L.R., Brown, G.M. (1960) . - Types of igneous cumulates.  
Journ. of Petrol. vol. 1, n°1 p. 73 - 85.



- Wager, L.R. (1962) . = Igneous cumulates from the 1902 eruption of Soufrière, St. Vincent.  
Bull. Volcano. XXIV p. 93 - 101.
- Wager, L.R. , Brown, G.M. (1967) . = The Skaergaard layered series.  
in "Layered igneous rocks". Oliver and Boyd Ed. London.
- Wedepohl, K.H. (1969) . = Composition and abundance of Common igneous rocks.  
in Handbook of geochemistry , vol. I p. 227 - 248.  
Springer Verlag, Berlin, Ed.
- Weibel, M. , Frangipane-Geysel, M. , Hunziker, J. (1978) . = Ein Beiträge zur Vulkanologie  
Süd Perus .  
Géol. Rundschau , 67 p. 243 - 252.
- Westphal, M. (1976) . = Contribution du paléomagnétisme à l'étude des déplacements continentaux autour  
de la Méditerranée occidentale.  
Thèse Doctorat d'Etat, Université de Strasbourg. 304 p.
- Wilhelm, S. (1978) . = Communication orale, Orsay.
- Will, G. , Nover, G. (1979) . = Influence of oxygen partial pressure on the Mg/Fe distribution in  
olivines.  
Phys. and Chemist. of Minerals. , 4 p. 199 - 208.
- Williams, H. , Mac Birney, A.R. (1979) . = Volcanology  
Freeman, Cooper and Co. San Francisco, Calif. 397 p.
- Winkler, H.G.F. (1965) . = La genèse des roches métamorphiques.  
Traduction de l'Edition allemande parue sous le titre "Die Genese der  
Metamorphen Gesteine."  
Ophrys Ed. (Gap).
- Wood, J. Banno, S. (1973) . = Garnet - Orthopyroxene and Orthopyroxene - Clinopyroxène relationships  
in simple and complex systems.  
Contr. Mineral and Petrol. (42) , p. 109 - 124.
- Wright, T.L. , Doherty, P.C. (1970) . = A linear programming and least squares computer method for  
solving petrologic mixing problems.  
Geol. Soc. of Amer. Bull. (81) p. 1995 - 2008.
- Wright, J.V. , Smith, A.L. , Self, S. ( 1980) . = A working terminology of pyroclastic deposits.  
Journ. of Volc. and Geotherm. Research , Vol. 8 , n° 2-4 p. 315 - 337.
- Yoder, H.S. (1969) . = Calc - alkaline andesites : experimental data bearing on the origin of their  
assumed characteristics.  
Proceed. the Andesite Conf. Inter. Upper Mantle Project, Sc. Report  
16, State of Oregon, Ed. p. 77 - 89.
- Yoder, H.S. , Tilley, C.E. (1962) . = Origin of basaltic magma : an experimental study of natural  
and synthetic rock systems.  
Journ. of Petrol. , 3 p. 342 - 532.



## ANNEXES

-----

Analyses chimiques des Roches Volcaniques Paléogènes des Alpes Occidentales ,

Analyses chimiques des Minéraux et des Mésostases des roches correspondantes.

Analyses de roches totales : dans le cadre de ce travail, elles ont été réalisées de 1974 à 1983 par Hubert GIMENEZ, Laboratoire de

El.majeurs : Pétrologie Minéralogie de l'Université de NICE.

El.mineurs et traces : Elles ont été réalisées au Centre d'Etudes Pétrographiques et Géochimiques de Nancy.

Analyses de verres volcaniques : Elles ont été réalisées à la Microsonde et de minéraux

Electronique (Service Commun Univ. Sci. et Tech. du Languedoc à Montpellier).

Les analyses empruntées à la littérature ont été mentionnées au fur et à mesure de leur reproduction.

Liste des Figures et Tableaux



## ENCLAVES GRENUES

- (1) Enclave de Gabbro à amphibole et pyroxène (Biot, Le Terme Blanc)  
Ech. P.L. 50 - (P.I)
- (2) Enclave de Gabbro à amphibole et pyroxène (La Vanade)  
Ech. P.L. 114 a - (P.I)
- (3) Enclave de Gabbro - Diorite à clinopyroxène et amphibole (Le Drammont)  
Ech. P.L. 360 - (P.I)
- (4) Enclave de Gabbro - Diorite à amphibole (Les Caous)  
Ech. P.L. 333 - (P.I)
- (5) Enclave de Gabbro - Diorite à amphibole (Les Caous)  
Ech. P.L. 332 - (P.I)
- (6) Enclave de Gabbro - Diorite à amphibole (Le Drammont)  
Ech. P.L. Es (78) 1. (P.I)
- (7) Enclave de Diorite à amphibole (Les Caous)  
Ech. P.L. 331 - (P.I)
- (8) Enclave de Diorite à amphibole (Le Drammont)  
Ech. P.L. 328 - (P.I)
- (9) Enclave de Gabbro - Diorite à amphibole et pyroxène (Biot) Ech. P.L. 78  
(P.I)
- (10) Enclave de Diorite à amphibole et pyroxène (Le Drammont).  
Ech. P.L. 341 (P.I)
- (11) Enclave de Diorite à amphibole (Le Drammont)  
Ech. P.L. 340 (P.I)
- (12) Enclave de Diorite à amphibole (Le Drammont)  
Ech. P.L. 329 (P.I)
- (13) Enclave de Gabbro à pyroxène (Biot)  
Ech. P.L. 52 - (P.I)
- (14) Enclave de Diorite à amphibole (Le Drammont)  
Ech. P.L. 349 - (P.I)
- (15) Enclave de Diorite à Biotite (Pierre Levée)  
Ech. P.L. 275 - (P.I)
- (16) Enclave de Trondjémite à biotite et grenat (Les Cou)  
Ech. P.L. 350 - (P.I)
- (16a) Enclave de Gabbro à amphibole et pyroxène (Saint Antonin)  
Ech. J.G. 9 - (P.II)

N°	1	2	3	4	5	6
SiO <sub>2</sub>	42,70	44,00	45,20	45,30	45,50	46,40
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21,10	21,70	17,60	16,80	16,90	12,40
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,47	6,14	4,87	7,00	5,00	5,85
FeO	4,30	4,74	6,46	4,74	6,28	6,17
MgO	6,13	6,38	8,30	8,35	7,97	8,40
CaO	13,12	12,63	9,30	9,05	9,10	10,38
Na <sub>2</sub> O	1,85	1,83	3,16	3,50	3,35	2,52
K <sub>2</sub> O	0,28	0,30	0,45	0,43	0,42	0,89
TiO <sub>2</sub>	1,39	1,42	2,24	2,25	2,29	2,37
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,15	0,33	0,67	0,47	0,43	0,57
MnO	0,22	0,14	0,30	0,41	0,42	0,36
H <sub>2</sub> O +	0,69	0,34	1,59	1,90	1,74	3,83
H <sub>2</sub> O -	0,35	0,05	0,04	0,29	0,40	0,16
total	99,75	100,01	100,18	100,49	99,80	100,30
Ba	113					
Co	78					
Cr	212					
Cu	21					
Ni	45					
Sr	416					
V	343					
Rb	10-					
C.I.P.W.						
Q						
Or	1,66	1,77	2,61	2,54	2,44	5,28
Ab	15,61	15,40	26,7	29,57	28,29	21,27
An	48,09	49,78	32,24	28,80	29,82	19,87
Ne						
Co						
Il	2,64	2,70	4,25	4,25	4,34	4,49
Ma	10,44	8,90	7,00	10,09	7,23	8,49
He	0,16			0,04		
Di Ca		4,50	4,98		5,35	11,80
Mg		3,68	3,50		3,96	9,12
Fe		0,34	1,30		0,86	1,39
Hy Mg	7,30	6,30			3,56	10,80
Fe		0,59		5,92	0,78	3,66
Ol Mg	5,60	4,20		5,56	8,65	
Fe		0,46	12,18	10,47	2,12	0,75
Wo	6,61		5,30			0,12
Ap	0,43	1,77	0,77	1,11	1,00	1,34
Basicité Plagioclase norme	An 76	An 76	An 55	An 49	An 51	An 48
S.Index	30,70	32,93	35,71	34,76	34,62	36,79
D.Index	17,27	17,17	29,31	32,14	30,73	26,55



N°	7	8	9	10	11	12
SiO <sub>2</sub>	47,40	47,50	47,50	47,70	48,40	48,70
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,60	16,90	20,20	13,90	14,60	16,90
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,50	5,77	4,84	5,18	2,95	4,33
FeO	5,56	5,67	3,63	5,45	6,70	5,70
MgO	6,98	6,82	5,77	5,74	5,50	7,10
CaO	9,05	8,05	12,30	9,40	9,12	8,85
Na <sub>2</sub> O	4,14	4,22	2,89	3,36	4,07	3,82
K <sub>2</sub> O	0,29	0,27	0,47	0,92	1,26	0,36
TiO <sub>2</sub>	2,03	2,34	1,00	4,18	4,15	2,07
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,45	0,48	0,10	0,25	0,38	0,46
MnO	0,29	0,33	0,17	0,44	0,64	0,37
H <sub>2</sub> O +	1,50	1,18	0,57	1,36	1,43	1,38
H <sub>2</sub> O -	0,37	0,14	0,20	0,07		0,13
total:	100,16	99,67	99,64	97,95	99,20	100,07
Ba				163		264
Co				72		82
Cr				197		126
Cu				426		20
Ni				99		55
Sr				333		241
V				223		330
Rb				10(-)		22
C.I.P.W.						
Q				3,73		
Or	1,71	1,61	2,72	5,43	7,45	3,67
Ab	32,60	35,68	24,41	28,40	32,27	31,44
An	25,79	26,13	40,60	20,09	18,07	27,54
Ne	1,32				1,13	
Co						
Il	3,86	4,43	1,90	7,94	7,90	3,92
Ma	7,98	8,37	7,00	6,90	4,17	6,28
He				0,44		
Di Ca	6,86	4,64	8,24		10,44	5,71
Mg	4,93	3,13	6,64		7,30	4,30
Fe	1,30	1,14	0,62		2,24	0,83
Hy Mg		1,45	1,08	14,30		9,36
Fe		0,52	0,11	10,46		1,83
Ol Mg	8,76	8,71	0,44		6,63	0,99
Fe	2,58	3,52			1,05	0,23
Wo	4,69					
Ap	1,07	1,11	0,23	0,59	0,89	1,07
Basicité Plagioclase Norme	An 44	An 42	An 62	An 41	An 36	An 46
S.Index	31,06	29,97	33,62	27,79	27	33,43
D.Index	35,63	63,42	27,13	37,47	40,85	35,11

N°	13	14	15	16	16 a
SiO <sub>2</sub>	49,60	49,70	54,80	71,50	43,45
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19,90	17,70	18,40	14,00	21,29
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,23	1,09	3,00	1,57	11,40 (+)
FeO	4,16	6,53	2,98	1,47	
MgO	4,38	7,16	2,60	0,42	5,37
CaO	10,52	8,04	6,17	3,67	13,91
Na <sub>2</sub> O	3,19	4,00	3,88	4,03	1,73
K <sub>2</sub> O	0,35	0,36	0,60	1,01	0,18
TiO <sub>2</sub>	1,56	0,85	0,62	0,44	1,31
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,45	0,19	0,26	0,08	0,07
MnO	0,16	0,15	0,09	0,04	0,18
H <sub>2</sub> O +	0,87	3,30	4,79	0,87	0,87
H <sub>2</sub> O -	0,75	0,80	0,85		-
total:	100,12	99,87	99,04	99,09	99,76
Ba				318	92
Co				98	108
Cr				11	40
Cu				14	39
Ni				inf.10	37
Sr				307	490
V				96	310
Rb				25	inf.10
C.I.P.W.					
Q	2,68		12,72	35,84	
Or	2,06	1,65	3,55	6,11	
Ab	26,98	33,79	32,42	34,06	
An	38,86	29,24	29,19	14,45	
Ne					
Co			0,67	0,93	
Il	2,96	1,61	1,18	0,83	
Ma	6,15	1,57	4,33	2,27	
He					
DiCa	5,60	3,98			
Mg	4,27	2,42			
Fe	0,71	1,57			
Hy Mg	6,67	4,15	6,50	1,05	
Fe	1,27	2,31	2,04	0,75	
Wo					
Ol Mg		7,92			
Fe		4,86			
Ap	1,06	0,44	0,60	1,51	
Basicité Plagioclase Norme	An 59	An 46	An 34	An 30	
S.Index	26,85	37,40	20,06	4,94	
D.Index:	31,72	35,44	48,69	76,01	



Andésites basiques des Provinces méridionales :

## PROVINCE LIGURO-PROVENCALE

[17] Ech. P.L. 319

and. bas. OPX - CPX (La Vanade)

[18] Ech. P.L. 312

and. bas. OPX - CPX (Les Vignasses de Biot)

[19] Ech. P.L. 412

and. bas. OPX - CPX - Hb (Biot)

Cumulat plagioclasiq

[20] Ech. P.L. 423

and. bas. à OPX - CPX (Biot, Tranchée Spada).

[21] Ech. P.L. 309

and. bas. OPX - CPX, (Biot Tranchée Spada)

(auréoles réactionelles OPX - CPX)

[22] Ech. P.L. 301

and. bas. à OPX - CPX - Hb (Villeneuve Loubet)

(hornblende en voie de résorption).

N°	□ 17	□ 18	□ 19	□ 20	□ 21	□ 22
SiO <sub>2</sub>	50,70	50,80	51,30	51,40	51,80	52,00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19,50	18,20	19,40	19,40	19,20	19,50
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,66	4,25	3,45	3,45	4,53	4,32
FeO	2,87	3,66	3,12	3,37	1,94	2,40
MgO	3,13	4,20	3,02	3,29	2,40	2,80
CaO	9,30	8,09	7,72	8,50	7,89	8,28
Na <sub>2</sub> O	3,27	2,68	3,68	3,52	3,38	3,36
K <sub>2</sub> O	1,17	0,66	1,25	1,28	1,00	0,91
TiO <sub>2</sub>	0,87	0,76	0,90	0,91	0,77	0,90
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,21	0,12	0,22	0,21	0,34	0,19
MnO	0,17	0,14	0,07	0,08	0,11	0,12
H <sub>2</sub> O +	1,60	2,17	1,96	1,40	1,94	1,48
H <sub>2</sub> O -	2,28	4,80	3,20	3,58	4,77	3,72
total:	99,73	100,53	99,22	100,39	100,07	99,98
Ba						
Co						
Cr						
Cu						
Ni						
Sr						
V						
Rb						
C.I.P.W.						
Q	5,14	9,20	4,92	4,11	9,36	7,90
Or	6,90	3,89	7,39	7,56	6,10	5,50
Ab	27,70	22,63	31,12	29,86	28,30	28,30
An	35,02	35,63	32,60	33,19	34,20	35,58
Ne						
Co						
Di Ca	4,06	1,60	1,82	3,24		2,30
Mg	3,40	1,19	1,36	2,36		1,80
Fe	0,30	0,24	0,26	0,57		0,26
Hy Mg	4,40	9,30	6,18	5,86		5,20
Fe	0,22	1,95	1,21	1,42		0,92
Ol Mg						
Fe						
Ma	6,72	6,16	5,01	4,98	4,64	6,96
Il	1,67	1,44	1,70	1,71	1,37	0,15
Ap	0,56	0,28	0,51	0,22	0,78	0,43
Wo				1,27		
He				1,28		
Basalité Plagioclase Norme	An 56	An 61	An 51	An 53	An 55	An 55
S. Index:	22,35	27,27	20,82	21,93	18,11	21,10
D. Index:	39,74	35,82	43,43	41,53	43,76	41,70



## Andésites basiques des Provinces méridionales

## PROVINCE LIGURO - PROVENCALE

[23] Ech. P. L. 154

And. bas. à deux pyroxènes et hornblende (Saint - Antonin)

Auréoles réactionelles OPX - CPX

[24] Ech. P.L. 805

and. bas. OPX - CPX - Hb. (Biot, Les Hauts de Vaugrenier)

Très vitreuse, texture semi-vésiculée.

[25] Ech. P.L. 18

and. bas. OPX - CPX - Hb. ( Anse du Crouton, Antibes)

Prélevé dans un filon en place.

[26] Ech. P.L. 12

and. bas. à OPX - CPX (Antibes)

Verre abondant.

[27] Ech. P.L. 20

and. bas. OPX - CPX - Hb. (La Vanade)

Amphibole en voie de résorption.

[28] Ech. P.L. 64 (1)

and. bas. à CPX (Biot, le Jas de Madame)

(Echantillon pris au coeur d'un bloc)

N°	□ 23	□ 24	□ 25	□ 26	□ 27	□ 28
SiO <sub>2</sub>	51,50	52,10	52,20	52,70	52,80	53,10
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,50	20,00	19,30	18,90	18,30	17,50
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,48	3,70	4,52	4,56	3,94	5,37
FeO	2,87	3,22	1,97	3,26	3,23	4,02
MgO	4,55	2,53	3,32	3,60	3,45	3,40
CaO	8,40	8,82	8,09	7,60	7,90	8,26
Na <sub>2</sub> O	2,60	3,62	3,22	3,42	3,47	3,66
K <sub>2</sub> O	0,46	1,07	0,77	1,52	1,36	1,09
	0,46	0,92	0,84	0,85	0,81	1,50
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,17	0,51	0,37	0,26	0,29	0,33
MnO	0,14	0,08	0,08	0,09	0,10	0,11
H <sub>2</sub> O +	3,12	1,89	2,47	1,40	1,62	0,76
H <sub>2</sub> O -	0,92	1,53	2,05	2,05	1,80	0,93
total:	99,44	98,98	99,17	100,21	99,07	100,03
Ba		451			362	
Co		27			35	
Cr		18			43	
Cu		inf.10			81	
Ni		inf.10			30	
Sr		372			352	
V		103			183	
Rb		42			38	
C.I.P.W.						
Q	11,20	5,89	9,06	6,15	7,14	7,80
Or	2,72	6,33	4,56	9,00	7,78	6,38
Ab	22,00	30,39	27,25	28,90	29,34	30,91
An	37,91	35,19	35,80	31,66	30,30	27,93
Ne						
Co	0,24					
Di Ca		2,27		2,43	3,00	4,58
Mg		1,67		1,94	2,60	3,68
Fe		0,38		0,20	0,40	0,48
Hy Mg	11,37	4,65	8,30	7,05	6,30	4,82
Fe	0,29	1,10		0,77	1,05	0,48
Ol Mg						
Fe						
Ma	7,94	5,34	4,10	6,60	5,80	7,89
Il	0,87	1,75	1,60	1,61	1,52	2,84
Ap	0,40	1,32	0,87	0,60	0,67	0,29
Wo			0,92			
He			1,68			
Basicité Plagioclase Norme	An 63	An 54	An 49	An 52	An 51	An 46
S.Index:	28,52	17,89	24,05	22,00	22,40	19,34
D.Index :	35,92	42,61	40,87	44,05	44,26	45,09



Andésites basiques des provinces méridionales

## PROVINCE LIGURO - PROVENCALE

(29) Ech. P.L. 60  
and. bas. à OPX - CPX - Hb. (Biot, le Terme blanc)  
Amphibole très résorbée.

(30) Ech. P.L. 166  
and. bas. à Ol. OPX - CPX ( Biot, le Jas de Madame)  
Olivine entièrement serpentinisée.

(31) Ech. P.L. 53  
and. bas. OPX - CPX - Hb. ( Biot, Le Terme blanc)  
Amphibole résorbée.

(32) Ech. P.L. 311  
and. bas. OPX - CPX ( Biot, les Vignasses)

(33) Ech. P.L. 477  
and. bas. OPX - CPX (Biot, Tranchée Spada).

(34) Ech. P.L. 310  
and. bas. OPX - CPX - Hb. ( Autoroute A8, sortie Bouches du Loup)  
Amphibole très résorbée.

N°	□ 29	□ 30	□ 31	□ 32	□ 33	□ 34
SiO <sub>2</sub>	53,20	53,30	53,40	53,50	53,60	53,60
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19,00	19,10	19,30	19,90	18,00	19,30
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,20	4,35	5,75	4,60	4,63	5,63
FeO	4,52	3,45	1,79	2,05	2,66	1,87
MgO	2,60	3,49	2,17	2,00	3,38	2,59
CaO	8,64	8,22	7,97	8,39	7,65	7,82
Na <sub>2</sub> O	3,42	3,49	3,40	3,57	2,22	3,53
K <sub>2</sub> O	1,52	1,29	1,03	1,45	1,30	1,27
TiO <sub>2</sub>	0,83	0,87	0,79	0,86	0,78	0,80
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,25	0,25	0,19	0,19	0,15	0,19
MnO	0,03	0,14	0,03	0,10	0,07	0,13
H <sub>2</sub> O +	0,57	0,47	2,13	1,00	2,82	1,06
H <sub>2</sub> O -	0,42	0,77	1,93	2,20	1,77	2,43
total:	99,20	99,19	99,98	99,81	99,03	100,22
Ba						
Co						
Cr						
Cu						
Ni						
Sr						
V						
Rb						
C.I.P.W.						
Q	4,86	2,96	11,94	8,22	12,48	9,04
Or	9,00	7,78	6,11	8,56	7,67	7,53
Ab	29,00	29,50	28,82	29,87	18,86	29,86
An	32,13	32,50	34,19	34,08	35,22	33,00
Ne						
Co						
Il	1,52	1,67	1,52	1,63	1,48	1,52
Ma	6,03	6,31	3,52	4,48	6,54	4,18
He			3,32	1,55	0,12	2,72
Di Ca	3,86	9,74				
Mg	1,94	7,38				
Fe	4,40	0,23				
Hy Mg	4,56	1,32	5,40	5,00	8,50	6,47
Fe	4,40	0,23				
Wo			1,74	2,71	5,60	6,47
Ap	0,60	0,56	0,44	0,44	0,38	0,44
Basicité Plagioclase Norme	An 52	An 52	An 54	An 53	An 65	An 52
S.Index:	15,98	21,71	15,34	14,63	23,66	17,39
D.Index:	42,86	40,24	46,86	46,65	38,91	46,43



## Andésites basiques des provinces méridionales

## P R O V I N C E L I G U R O P R O V E N Ç A L E

(35) Ech. P.L. 42

K - Andés. Bas. OPX - CPX - Hb. (La Villa Maure)  
(Terme potassique de la Province Liguro - Provençale)

(36) Ech. P.L. 1

and. bas. Ol. QPX - CPX (Tourrettes sur Loup)

(37) Ech. P.L. 11

and. bas. OPX - CPX - Hb. (Antibes)

Amphibole en voie de résorption.

(38) Ech. P.L. 312 a

and. bas. OPX - CPX (Biot, les Vignasses)

(39) Ech. P.L. 424

and. bas. OPX - CPX - Hb. (Biot, Tranchée Spada)

Cumulat plagioclasique  
Amphibole résorbée.

(40) Ech. P.L. 430

and. bas. CPX (Biot, Terme blanc)

cumulat plagioclasique.

N°	□ 35	□ 36	□ 37	□ 38	□ 39	□ 40
SiO <sub>2</sub>	53,70	54,60	54,60	54,60	54,80	54,80
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,40	19,00	20,00	19,90	20,40	20,30
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,44	3,30	4,22	5,42	6,13	3,84
FeO	4,16	3,52	2,37	1,50	0,94	2,30
MgO	3,43	3,03	1,86	1,90	1,53	2,16
CaO	6,93	8,55	7,28	7,85	8,56	8,13
Na <sub>2</sub> O	3,29	3,11	4,00	3,56	3,80	3,70
K <sub>2</sub> O	1,83	1,51	1,45	1,36	1,30	1,33
TiO <sub>2</sub>	0,83	0,74	0,64	0,82	0,98	0,75
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,30	0,30	0,28	0,19	0,19	0,21
MnO	0,12	0,18	0,14	0,10	0,05	0,05
H <sub>2</sub> O +	0,98	0,75	1,16	1,40	1,20	0,78
H <sub>2</sub> O -	0,83	0,50	1,35	1,70	0,87	0,88
total:	99,23	99,09	99,34	100,30	100,75	99,24
Ba	374	386	461			
Co	29	32	24			
Cr	61	47	33			
Cu	96	29	41			
Ni	22	20	13			
Sr	522	319	379			
V	266	116	142			
Rb	43	34	37			
C.I.P.W.						
Q	7,66	8,85	10,02	10,44	9,00	8,70
Or	10,78	8,90	8,56	8,01	7,78	7,86
Ab	27,77	26,30	33,79	30,07	32,12	31,44
An	30,02	33,58	32,27	34,24	34,66	34,68
Ne						
Co						
Il	1,52	1,39	1,21	1,55	1,86	1,42
Ma	6,42	4,80	6,01	3,24	0,35	5,57
He				3,26	5,32	
Di	1,10	2,95	0,91			
Ca	0,75	1,99	0,77			
Mg	0,24	0,74	0,17			
Fe	7,82	5,61	1,52			
Hy	2,61	2,19	0,03	4,75	3,82	5,40
Mg						
Fe						
Ol						
Mg						
Fe						
Wo				1,48	2,81	2,34
Ap	0,70	1,39	0,67	0,44	0,44	0,47
Basicité Plagioclase Norme	An 52	An 57	An 48	An 53	An 52	An 52
S.Index:	20	21	13,40	13,82	11,16	16,24
D.Index:	46,21	44,05	52,37	48,52	48,90	48



Andésites basiques des provinces méridionales

## PROVINCE LIGURO-PROVENCALE

(41) P.L. 169

and. bas. OPX - CPX (Biot, Terme blanc)

Andésite semi - vésiculée.

(42) P.L. 317

and. bas. OPX - CPX (Villeneuve Loubet, Aspre Redon)

Texture très porphyrique.

(43) P.L. 19

and bas. OPX - CPX - Hb. (La Vanade)

Amphibole entièrement résorbée.

(43a) T.41

and. bas. OPX - CPX - Hb. (La Vanade)

(44) P.L. 44

and. bas. Ol. OPX - CPX (Villa Maure)

(45) P.L. 313 a

and. bas. OPX - CPX (Biot les Vignasses)

N°	□ 41	□ 42	□ 43	□ 43a	□ 44	□ 45
SiO <sub>2</sub>	54,70	54,70	54,80	55,00	55,20	55,40
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,80	19,00	18,70	19,80	18,70	20,20
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,32	4,28	5,64	4,59	4,47	4,88
FeO	2,94	3,34	2,72	1,34	3,15	1,40
MgO	2,89	3,27	2,15	2,12	2,67	1,65
CaO	7,60	7,77	8,26	7,92	7,36	7,65
Na <sub>2</sub> O	3,00	3,22	3,63	3,29	3,59	3,75
K <sub>2</sub> O	1,44	1,74	1,19	1,44	1,77	1,53
TiO <sub>2</sub>	0,92	0,76	0,91	0,85	0,87	0,79
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,40	0,18	0,29	0,33	0,29	0,19
MnO	0,15	0,16	0,15	0,12	0,10	0,07
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	2,02	0,70	1,19	1,21	0,83	1,07
	0,97	0,75	0,24	1,51	0,69	1,44
total:	100,13	99,97	99,80	99,52	99,69	100,02
Ba						
Co						
Cr						
Cu						
Ni						
Sr						
V						
Rb						
C.I.P.W.						
Q	11,96	9,00	10,91	11,58	8,82	10,03
Or	8,50	10,30	7,00	8,34	10,56	9,06
Ab	25,36	27,20	30,39	27,77	30,39	31,70
An	33,44	32,24	31,24	35,03	29,55	33,83
Ne						
Co						
Il	1,78	1,50	1,71	1,52	1,67	1,52
Ma	6,26	6,26	6,72	2,09	6,4	2,41
He			0,99	3,20		3,21
Di Ca	1,42	2,10			2,93	
Mg	1,15	1,60			2,31	
Fe	0,10	0,26			0,28	
Hy Mg	6,05	6,60	5,40	5,30	4,38	4,10
Fe	0,62	0,92			0,54	
Wo			3,36	1,16		1,19
Ap	0,94	0,44	0,68	1,08	0,67	0,44
Basicité Plagioclase Norme	An 57	An 53	An 50	An 56	An 48	An 51
S.Index:	19,80	20,63	14,02	16,58	17,03	12,49
D.Index:	45,82	46,50	48,30	47,69	49,77	50,79



Andésites basiques et microdiorites des provinces méridionales

## PROVINCE LIGURO-PROVENCALE

(46) Ech. P.L. 168

and. bas. OPX - CPX ( Biot, le Jas de Madame)

Amphiboles entièrement rétrotransformées

(46a) Ech. T.42 (in J-D.Giraud 1975)

and. . . . . OPX - CPX (Biot )

(46b) Ech. T.40 (in J-D.Giraud 1975)

and. bas. OPX - CPX (Villeneuve Loubet)

(47) Ech. P.L. 303

and. bas. OPX - CPX -Hb (Autoroute A8, sortie Bouches du Loup)

Amphibole en voie de résorption.

(48) Ech. T.7 (in J-D. Giraud 1975) Estérellite

microdiorite à hornblende (Aigue-Bonne)

(49) Ech. P.L. 318

and. bas. OPX - CPX (Villeneuve Loubet, Aspre Redon).

	□	□	□	□	★	△
N°	46	46 a	46 b	47	48	49
SiO <sub>2</sub>	55,70	55,80	56,00	56,00	56,08	56,10
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,50	20,60	20,60	18,50	18,70	19,60
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,83	4,68	3,93	4,20	3,32	4,70
FeO	2,55	0,85	1,70	2,48	2,41	1,22
MgO	3,34	1,83	1,84	2,57	2,86	1,67
CaO	7,25	7,86	8,69	7,18	6,71	7,09
Na <sub>2</sub> O	3,66	3,58	3,40	3,43	3,64	3,64
K <sub>2</sub> O	1,32	1,47	1,15	1,50	1,66	2,10
TiO <sub>2</sub>	0,59	0,67	0,81	0,78	0,57	0,83
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,24	0,46	0,39	0,21	0,23	0,26
MnO	0,15	0,15	0,16	0,14	0,06	0,13
H <sub>2</sub> O +	1,30	0,82	0,51	1,59	2,79	1,47
H <sub>2</sub> O -	0,66	0,80	0,61	1,37	0,44	1,52
total:	100,09	99,57	99,79	99,95	99,38	100,30
Ba						
Co						
Cr						
Cu						
Ni						
Sr						
V						
Rb						
C.I.P.W.						
Q	11,88	10,89	12,12	12,54	10,16	10,40
Or	7,78	8,90	6,95	8,90	9,78	12,20
Ab	28,40	30,39	28,82	28,80	30,91	31,00
An	31,35	35,58	37,39	30,60	29,57	30,85
Ne						
Co						
Il	1,11	1,22	1,52	1,50	1,08	1,52
Ma	7,01	1,39	3,71	6,03	4,68	2,02
He		3,68	1,28			3,20
Di Ca					1,58	
Mg					1,24	
Fe					0,15	
Hy Mg	8,35	4,60	4,60	6,40	5,91	4,20
Fe					0,75	
Ol Mg						
Fe						
Wo	1,36	0,25	1,33	1,62		1,27
Ap	0,56	1,33	1,08	0,40	0,54	0,57
Basicité Plagioclase Norme	An 52	An 53	An 56	An 51	An 49	An 50
S.Index:	21,27	15	15,30	17,74	20,72	12,71
D.Index:	48,06	50,18	47,89	50,24	50,85	53,60



Andésites basiques et microdiorites des provinces méridionales

## PROVINCE LIGURO-PROVENCALE

(50) Ech. P.L. 441

and. bas. OPX - CPX -Hb ( Biot, Terme Blanc)

Amphibole rétrotransformée.

(51) Ech. T. 2 (in J-D. Giraud 1975) Estérellite

microdiorite à CPX - Hb (Les Cou)

(52) Ech. T.5 (in J-D.Giraud 1975) Estérellite

microdiorite à hornblende (Aigue-Bonne)

## PROVINCE SUB ALPINE MERIDIONALE

(52bis) Ech. Ba . 1

K - and. bas. CPX - Hb. (Poste de Clumanc, Barrême)

N°	△	★	★	52 bis
SiO <sub>2</sub>	56,50	56,60	56,85	52,90
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20,10	16,00	18,90	16,80
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,08	3,95	3,70	6,15
FeO	1,83	2,35	2,60	1,44
MgO	1,87	2,90	3,15	2,22
CaO	7,27	9,95	6,85	5,56
Na <sub>2</sub> O	3,48	2,60	3,40	4,20
K <sub>2</sub> O	1,32	1,40	1,50	2,95
TiO <sub>2</sub>	0,78	0,55	0,50	0,57
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,20	0,29	0,22	0,39
MnO	0,05	0,11	0,08	0,04
H <sub>2</sub> O +	0,84	0,56	1,90	2,33
H <sub>2</sub> O -	0,85	0,98	0,35	1,40
total:	99,17	98,16	99,80	99,34
Ba				
Co				
Cr				
Cu				
Ni				
Sr				
V				
Rb				
C.I.P.W.				
Q	13,38	14,88	12,30	3,42
Or	7,78	8,34	8,89	17,28
Ab	29,34	22,01	28,82	35,63
An	34,97	27,80	31,69	23,60
Ne				
Co	0,12			
Il	1,52	0,99	0,95	1,36
Ma	3,74	5,80	5,36	2,78
He	1,50			4,16
Di Ca		8,77		
Mg		7,25		
Fe		0,41		
Hy Mg	4,67		7,90	5,60
Fe			1,03	
Wo		0,16		0,59
Ap	0,47	0,67	0,51	1,01
Basicité Plagioclase Norme	An 54	An 55	An 53	An 39
S. Index	14,86	21,96	22,02	13,17
D. Index:	50,50	45,23	50,01	56,33



Andésites basiques des provinces méridionales

## PROVINCE SUB-ALPINE MERIDIONALE

(53) Ech. P.L. 237 bis

and. bas. CPX - Hb (Chamengearde, Saint-Antonin)

Echantillon provenant d'un filon en place

(54) Ech. P.L. 47 bis

and. bas. CPX -OPX (Cap d'Ail)

(55) Ech. P.L. 96

and. bas. CPX -Hb (Saint - Antonin)

(56) Ech. To S 13 D (in S. Touré 1981 a)

and. bas. à CPX - Hb. (Saint - Antonin)

Andésites des provinces méridionales

## PROVINCE LIGURO - PROVENCALE

(57) Ech. P.L. 315

and. OPX - CPX (Villeneuve Loubet, Aspre Redon)

(57 b) Ech. P.L. 445

and. OPX - CPX (Biot, Décharge)

N°	■ 53	■ 54	■ 55	■ 56	△ 57	△ 57bis
SiO <sub>2</sub>	54,50	55,10	55,70	56,30	57,10	57,20
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19,20	18,30	20,70	18,50	19,00	18,90
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,30	5,29	3,48	4,37	4,39	4,52
FeO	2,36	3,08	1,98	1,87	2,23	2,37
MgO	2,28	3,68	1,80	1,25	2,35	1,90
CaO	8,36	7,46	7,89	7,54	6,83	7,17
Na <sub>2</sub> O	3,68	3,93	3,60	4,15	3,92	3,15
K <sub>2</sub> O	1,44	1,15	2,80	2,00	1,64	1,73
TiO <sub>2</sub>	0,68	0,90	0,70	0,76	0,64	0,80
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,27	0,36	0,20	0,30	0,20	0,26
MnO	0,06	0,12	-	0,06	0,15	0,08
H <sub>2</sub> O +	0,68	0,91	1,27	1,63	1,12	0,79
H <sub>2</sub> O -	1,24			0,55	0,70	0,47
total:	99,04	100,28	100,12	99,28	100,27	99,34
Ba	296					
Co	21					
Cr	65					
Cu	36					
Ni	16					
Sr	361					
V	234					
Rb	40					
C.I.P.W.						
Q	8,64	8,76	7,17	9,42	11,13	15,06
Or	8,34	6,67	16,60	11,68	9,45	10,23
Ab	31,44	33,01	30,40	35,11	33,00	26,72
An	31,41	29,19	32,02	25,85	29,00	32,13
Ne						
Co						
Il	1,29	1,67	1,33	1,34	1,21	1,52
Ma	5,82	7,65	5,03	4,18	5,80	5,57
He	3,63			1,34	0,32	0,67
Di Ca			2,50			
Mg			1,89			
Fe			0,35			
Hy Mg	5,70	9,20	2,61	3,10	5,80	4,75
Fe			0,47			
Wo	3,63	2,32		4,18	1,39	0,80
Ol Mg						
Fe						
Ap	0,64	0,84	0,47	0,67	0,44	0,67
Basicité Plagioclase Norme	An 50	An 46	An 52	An 42	An 46	An 54
S.Index:	16,21	21,48	13,17	9,16	16,20	13,89
D.Index:	48,42	48,44	54,17	56,21	53,58	52,01



Andésites des provinces méridionales, et estérellites

PROVINCE LIGURO - PROVENCALE

(58) Ech. P.L. 410

And. CPX - OPX ( Biot, Tranchée Spada)

(59) Ech. T.1, Estérellite (in J-D. Giraud, 1975 )

microdiorite à CPX - Hb (Les Cou)

(60) Ech. T.3, Estérellite (in J-D. Giraud, 1975)

microdiorite à OPX - Hb. (Les Cou)

(60b) Ech. V.M. (in C. Christl, 1982)

K - andésite (shoshonite) à OPX - CPX (La Villa Maure)

(61) Ech. P.L. 105 (2)

And. CPX - OPX (Cap d'Ail)

(62) Ech. P.L. 305

And. OPX - CPX - Hb (Autoroute A8, Sortie Bouches du Loup)

(63) Ech. T.4 (in J-D. Giraud, 1975) Estérellite

microdiorite à hornblende ( Aigue-Bonne)

N°	△ 58	★ 59	★ 60	△ 60b	△ 61	△ 62	★ 63
SiO <sub>2</sub>	57,40	57,63	57,71	57,77	57,80	57,90	58,00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,10	18,43	17,32	17,75	18,80	19,50	18,40
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,56	4,59	4,04	2,35	2,56	4,37	2,92
FeO	2,86		1,39	4,10	3,12	1,22	2,40
MgO	2,54	2,38	2,73	2,32	1,98	1,40	2,70
CaO	7,15	7,18	6,89	6,25	6,95	7,20	7,10
Na <sub>2</sub> O	3,98	3,92	4,20	3,79	3,79	3,93	4,30
K <sub>2</sub> O	1,99	1,30	1,44	2,90	1,69	1,72	1,50
TiO <sub>2</sub>	0,79	0,28	0,63	0,66	0,70	0,71	0,75
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,18	-	0,25	0,44	0,30	0,21	0,32
MnO	0,07	-	0,11	0,15	0,12	0,07	0,14
H <sub>2</sub> O +	0,62	5,20	1,75	1,00	1,49	1,09	1,23
H <sub>2</sub> O -	0,60		0,56	0,54	0,43	1,19	0,35
total:	99,56	100,91	99,02	100,02	99,73	100,51	100,76
Ba			555		438		
Co			33		27		
Cr			74		42		
Cu			12		13		
Ni			27		10		
Sr			387		404		
V			154		122		
Rb			42		45		
C.I.P.W.							
Q	9,72	12,72	19,18	8,13	11,82	12,60	9,54
Or	11,67	7,78	8,50	7,40	10,08	10,00	8,90
Ab	33,53	33,01	35,47	32,55	32,07	33,00	36,15
An	25,27	28,63	24,13	23,20	29,13	30,60	26,41
Ne							
Co				1,27			
Il	1,50	0,67	0,88	3,46	1,33	1,21	1,28
Ma	5,10	4,64	3,48		3,71	2,08	4,18
He			1,60	2,23		2,88	
Di Ca	3,71			2,18	1,41		2,90
	2,95			0,98	0,86		2,25
	0,32			4,68	0,47		0,33
Hy Mg	3,34	5,90	6,80	3,87	4,09	3,50	5,50
Fe	0,35				2,20		
Wo		2,32	3,67			1,62	
Ol Mg							
Fe							
Ap	0,42	0,67	0,50	1,06	0,70	0,44	0,67
Basicité Plagioclase Norme	An 43	An 45	An 40	An 41	An 48	An 47	An 42
S.Index:	17,39 +	19,59 +	19,78 -	15,00	15,06 -	11,07 +	19,53 +
D.index:	54,92	53,51	63,15	58,08	53,97	55,60	54,59



## Andésites et estérellites des provinces méridionales

## PROVINCE LIGURO - PROVENCALE

[64] Ech. T.6 Estérellite (in J.D. Giraud, 1975)

microdiorite à Hb (Aigue-Bonne)

[65] Ech. P.L. 408

and. OPX - CPX (Biot, décharge)

[66] Ech. P.L. 427

and. OPX - CPX (Biot, décharge)

[67] Ech. P.L. 110

and. à CPX - Hb (La Vanade)

[68] Ech. P.L. 66

and. CPX (Biot, le Jas de Madame)

[69] Ech. T. 10 (in J.D. Giraud, 1975) Estérellite

microdiorite quartzique à Hb. (Le Drammont)

N°	★ 64	△ 65	△ 66	△ 67	△ 68	★ 69
SiO <sub>2</sub>	58,10	58,60	58,70	59,30	59,40	59,50
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19,65	19,40	19,80	19,40	19,30	18,49
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,65	2,89	4,09	4,55	4,96	6,38
FeO	2,40	2,44	1,94	0,60	1,32	
MgO	3,25	1,36	1,42	0,90	0,64	2,15
CaO	6,55	7,78	6,78	7,35	7,60	6,59
Na <sub>2</sub> O	3,95	4,20	3,70	3,90	3,68	4,19
K <sub>2</sub> O	0,80	1,66	1,28	1,50	1,12	1,69
TiO <sub>2</sub>	0,55	0,73	0,63	0,62	0,79	-
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,24	0,17	0,17	0,20	0,29	0,35
MnO	0,10	0,10	0,06	0,07	0,05	-
H <sub>2</sub> O +	1,21	0,39	0,65	0,75	0,90	3,57
H <sub>2</sub> O -	0,30	0,44	0,05	0,93	0,70	
total:	99,74	100,16	99,27	100,07	100,84	98,71
Ba		339				
Co		34				
Cr		58				
Cu		119				
Ni		24				
Sr		347				
V		223				
Rb		47				
C.I.P.W.						
Q	12,94	9,72	15,82	14,96	17,70	14,40
Or	4,72	10,00	7,78	8,90	6,67	10,01
Ab	33,53	35,63	31,44	33,01	31,44	35,63
An	31,13	28,91	32,63	30,86	32,52	25,30
Ne						
Co	0,74		0,26			0,41
Il	1,03	1,38	1,18	1,17	1,49	
Ma	3,71	4,17	4,64	0,60	2,13	
He			0,89	4,06	3,51	6,40
Di Ca		3,64				
Mg		2,53				
Fe		0,80				
Hy Mg	8,10	2,53	3,55	2,25	1,60	5,40
Fe	1,61	0,27				
Wo				2,34	0,15	
Ol Mg						
Fe						
Ap	0,55	0,40	0,40	0,47	0,61	0,90
Basicité Plagioclase Norme	An 48	An 45	An 51	An 48	An 51	An 52
S.Index	25	10,86	11,36	7,86	6,46	14,92
D.Index	51,19	55,35	55,04	56,87	55,81	45,64



## Andésites et estérellites des provinces méridionales

## PROVINCE LIGURO - PROVENCALE

[70] Ech. P.L. 51

And. OPX - CPX (Biot, le Terme blanc)

Roche hôte de l'enclave de gabbro (anal. 1)

[71] Ech. T.23 (in J.D. Giraud, 1975) Estérellite

microdiorite quartzique à Hb (Le Castellat)

[72] Ech. P.L. 471

And. CPX - Hb (Biot, le Terme blanc)

roche très porphyrique, sensiblement microgrenue.

[73] Ech. T.8 (in J. D. Giraud, 1975) Estérellite

microdiorite quartzique à Hb (Le Drammont)

[74] Ech. T.11 (in J.D. Giraud, 1975) Estérellite

microdiorite quartzique à Hb. (Le Drammont)

[75] Ech. T.12 (in J.D. Giraud, 1975) Estérellite

microdiorite quartzique à hb (Pierre Blave)

N°	△ 70	★ 71	△ 72	★ 73	★ 74	★ 75
SiO <sub>2</sub>	59,60	59,60	60,10	60,60	60,81	60,87
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20,30	17,50	19,40	18,80	17,14	16,88
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,26	2,65	3,76	2,80	2,46	3,61
FeO	0,57	2,60	0,93	2,55	1,53	1,37
MgO	0,30	2,30	0,85	1,95	1,88	1,93
CaO	5,90	7,70	6,34	6,55	5,65	6,17
Na <sub>2</sub> O	4,00	3,75	3,87	4,00	4,12	4,24
K <sub>2</sub> O	2,00	1,25	1,78	1,90	1,29	1,68
TiO <sub>2</sub>	0,73	0,55	0,71	0,40	0,46	0,45
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,33	0,20	0,20	0,21	0,21	0,24
MnO	-	0,20	0,02	0,12	0,09	0,13
H <sub>2</sub> O +	1,30	1,66	0,78	1,20	2,19	1,85
H <sub>2</sub> O -	1,26	0,06	0,96	0,54	0,36	0,13
Total:	99,14	99,98	99,70	99,92	99,10	102,54
Ba					453	
Co					26	
Cr					54	
Cu					10-	
Ni					18	
Sr					364	
V					109	
Rb					34	
C.I.P.W.						
Q	16,38	13,29	16,26	15,96	16,38	16,14
Or	11,67	7,22	10,56	11,12	7,74	10,01
Ab	33,53	31,44	32,48	33,53	34,58	35,63
An	29,19	35,58	30,58	22,10	29,46	22,10
Ne						
Co				2,19	2,24	
Il	0,91	1,04	1,36	0,76	0,91	0,85
Ma	1,20	3,82	0,97	4,06	3,57	1,76
He	3,26		3,08			2,33
Di Ca		0,55				
Mg		0,38				
Fe		0,13				
Hy Mg	0,75	5,32	2,10	4,90	4,70	4,80
Fe		1,93		1,91	0,14	
Ol Mg						
Fe						
Wo			0,34			2,61
Ap	0,78	0,47	0,51	0,50	0,47	0,55
Basicité						
Plagioclase	An 46	An 53	An 49	An 40	An 46	An 38
Norme						
S.Index:	2,96	18,32	7,59	14,77	16,60	15,04
D.Index:	61,58	51,95	59,30	60,61	58,70	61,78



## Andésites et estérellites des provinces méridionales

## PROVINCE LIGURO - PROVENCALE

[76] Ech. P.L. 466

and. CPX - Hb (Biot, le Terme blanc)

Amphibole résorbée.

[77] Ech. T.16 (in J.D. Giraud, 1975) Estérellite

microdiorite quartzique (Petits Caous)

à Hb

[78] Ech. T.9. (in J.D. Giraud, 1975) Estérellite

microdiorite quartzique à Hb. (Le DRammont)

[79] Ech. T.15 (in J.D. Giraud, 1975) Estérellite

microdiorite quartzique à Hb. (Petits Caous)

[80] Ech. T. 21 (in J.D. Giraud 1975) Estérellite

microdiorite quartzique à Hb (Boulouris)

[81] Ech. T.14 (in J.D. Giraud, 1975) Estérellite

microdiorite quartzique à Hb. (Touchque)

	△ 76	★ 77	★ 78	★ 79	★ 80	★ 81
SiO <sub>2</sub>	61,00	61,24	61,58	61,85	61,94	62,52
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19,10	16,95	18,84	18,75	17,81	17,23
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,50	2,57	4,68	2,75	2,06	2,34
FeO	1,80	1,21		1,75	2,26	1,62
MgO	1,00	1,47	2,04	1,80	2,30	1,56
CaO	6,07	5,30	4,75	7,70	6,62	5,41
Na <sub>2</sub> O	3,08	4,15	4,27	1,95	3,69	4,40
K <sub>2</sub> O	1,50	1,14	1,49	1,45	1,28	2,17
TiO <sub>2</sub>	0,63	0,35		0,25	0,90	0,47
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,16	0,22	0,27		0,18	0,22
MnO	0,09	0,16		0,15		0,11
H <sub>2</sub> O +	0,76	4,51	1,61	2,00	0,14	1,44
H <sub>2</sub> O -	0,60	0,46		0,40	0,81	0,27
total :	99,29	99,73	101,97	100,89	100,22	99,76
Ba	352	315				
Co	37	31				
Cr	55	48				
Cu	37	17				
Ni	25	24				
Sr	294	322				
V	192	80				
Rb	57	34				
C.I.P.W.						
Q	23,10	20,16	15,24	25,24	18,62	15,04
Or	8,89	6,67	8,90	8,56	7,69	12,72
Ab	26,20	35,11	36,15	16,50	31,44	37,20
An	29,19	24,19	27,52	37,06	28,18	20,85
Ne						
Co	1,63			0,47	1,67	0,88
Il	1,21	0,61		3,94	3,01	1,36
Ma	4,17	1,39				
He	0,64	1,60	4,64			
Di Ca					1,46	1,98
Mg					1,12	1,46
Fe					0,18	0,38
Hy Mg	2,50	3,70	5,10	4,50	4,63	3,90
Fe				0,79	0,79	
Ol Mg						
Fe						
Wo			1,51			1,86
Ap	0,37	0,50	0,67		0,42	0,50
Basicité Plagioclase Norme	An 52	An 41	An 43	An 69	An 47	An 36
S.Index:	9,17	13,94	16,34	18,55	19,84	13,24
D.Index:	58,19	61,94	60,29	53,00	57,65	64,96



## Andésites et estérellites des provinces méridionales

## PROVINCE LIGURO PROVENCALE

(82) Ech. T.17 (in J.D. Giraud 1975) Estérellite

micro-trondjhémite à grenat (P.C. 90,2)

(83) Ech. T.13 (in J.D. Giraud 1975) Estérellite

microdiorite quartzique à Hb. (Touchque)

## Andésites des provinces méridionales

## PROVINCE SUB - ALPINE MERIDIONALE

(84) Ech. S17 C3 (in S. Touré 1981 a)

andésite à Hb (Saint Antonin)

(84a) Ech. E4/5 (in S. Touré 1981 a)

K and. CPX - Hb (Barrême)  
(Shoshonite)

(84b) Ech. E4/6 (in S. Touré 1981 a)

K and. CPX - Hb (Barrême)

(Shoshonite)

(85) Ech. A5 (in S. Touré 1981a)

and. CPX - Amp. (Saint Antonin)

N°	★ 82	★ 83	★ 84	★ 84a	★ 84b	★ 85
SiO <sub>2</sub>	62,84	62,91	57,60	57,70	58,00	58,40
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,32	18,38	15,70	19,20	19,00	19,20
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,31	5,55	4,03	4,69	4,53	3,20
FeO	1,25		3,34	0,65	1,22	2,08
MgO	1,42	1,97	2,60	1,50	1,36	2,20
CaO	4,48	5,93	6,54	6,29	5,53	9,30
Na <sub>2</sub> O	4,35	3,67	6,60	3,88	4,40	3,25
K <sub>2</sub> O	1,05	1,66	0,54	2,56	3,13	1,08
TiO <sub>2</sub>	0,36		0,80	0,83	0,68	0,71
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,25	0,37	0,19	0,37	0,34	0,23
MnO	0,25		0,13	0,04	0,04	0,04
H <sub>2</sub> O +	3,70	2,17	1,39	1,36	1,30	0,70
H <sub>2</sub> O -	0,51		0,19	1,16	0,56	0,44
total:	98,96	99,76	99,65	100,23	99,89	100,83
Ba	242					
Co	79					
Cr	49					
Cu	45					
Ni	20					
Sr	386					
V	200					
Rb	24					
C.I.P.W.						
Q	22,46	20,04	2,94	10,98	8,28	14,76
Or	6,22	10,00	3,34	15,01	18,35	6,67
Ab	36,68	31,44	56,07	33,01	37,20	27,25
An	20,82	27,24	11,40	27,24	22,80	34,47
Ne						
Co	0,39	0,40				
Il	0,68		1,52	1,52	1,37	1,37
Ma	3,34		5,80		1,89	4,64
He		5,60		4,64	3,04	
Di Ca			8,46			
Mg			6,10			
Fe			1,58			
Hy Mg	3,55	5,00	0,40	3,88	3,40	5,50
Fe	0,01		0,13			
Wo				0,58	0,81	4,64
Ol Mg						
Fe						
Ap	0,57	0,87	0,34	1,01	0,67	0,67
Basicité Plagioclase Norme	An 36	An 46	An 17	An 45	An 38	An 56
S.Index:	13,68	15,39	18,33	11,30	9,28	18,64
D.Index:	65,36	61,48	62,35	59,00	63,83	48,68



## Andésites des provinces méridionales

## PROVINCE SUBALPINE MERIDIONALE

(85a) Ech. P.L. 10

and. CPX - Hb (Filon en place, Les Baylons ferme  
Saint Antonin)

(86) Ech. G.218 (in S. Touré 1981 a)

and. CPX - Hb ( Saint-Antonin)

(87) Ech. P.L. 161

and. OPX - CPX - Hb (Saint Antonin, Filon en place  
Les Baylons, ferme)

(88) Ech. P.L. 260

and. CPX - Hb (Saint Antonin, Filon en place, vallon de Fontanne)

(89) Ech. P.L. 81

and. OPX - CPX - Amp. (Saint-Antonin, Collongues)

(90) Ech. P.L. 195

and Hb (Saint - Antonin)

Très prorphyrrique, analogue à une microdiorite

N°	☆ 85a	☆ 86	☆ 87	☆ 88	☆ 89	☆ 90
SiO <sub>2</sub>	59,40	60,70	61,20	62,10	62,20	62,20
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19,10	18,20	17,60	17,40	17,20	16,90
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,45	3,62	3,67	2,29	3,44	2,80
FeO	1,90	1,44	1,50	2,30	1,44	1,15
MgO	1,29	1,26	1,92	0,93	1,13	1,87
CaO	7,48	7,60	6,93	6,75	6,79	6,50
Na <sub>2</sub> O	3,50	3,16	2,80	3,75	3,36	3,10
K <sub>2</sub> O	1,75	1,24	1,23	1,60	1,35	1,15
TiO <sub>2</sub>	0,73	0,65	0,65	0,68	0,51	0,59
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,21	0,15	0,17	0,34	0,19	0,19
MnO	0,13	0,03	0,06	0,10	0,07	0,09
H <sub>2</sub> O +	0,56	0,72	1,96	0,42	1,13	1,69
H <sub>2</sub> O -	0,53	0,65	1,62	0,62	0,72	1,13
total:	100,03	99,42	99,36	99,27	99,53	99,36
Ba	461			331		
Co	24			30		
Cr	33			54		
Cu	41			160		
Ni	13			20		
Sr	379			347		
V	142			232		
Rb	37			41		
C.I.P.W.						
Q	16,02	20,94	23,28	19,41	22,95	24,16
Or	10,34	7,23	7,22	9,45	7,95	6,78
Ab	29,57	26,72	23,66	31,70	28,29	26,20
An	31,17	31,69	31,77	25,71	27,80	28,58
Ne						
Co						
Il	1,38	1,22	1,23	1,29	0,95	1,11
Ma	4,43	2,78	3,15	3,32	3,41	2,32
He	0,38	1,76	1,50		1,10	1,20
Di Ca				3,25		
Mg				1,90		
Fe				1,18		
Hy Mg	3,22	3,50	4,80	0,34	2,80	4,60
Fe				0,37		
Ol Mg						
Fe						
Wo	1,95	2,20	0,67		1,97	1,07
Ap	0,50	0,34	0,40	0,80	0,44	0,45
Basicité Plagioclase Norme	An 51	An 54	An 54	An45	An 50	An 52
S.Index:	10,84	11,75	16,81	8,38	8,30	18,57
D.Index:	55,93	54,89	54,16	60,56	59,19	57,14



Dacites des provinces méridionales (Estérellites)

PROVINCE LIGURO PROVENCALE

analyses in J.D. Giraud, 1975

(91) Ech. T.24

microdiorite quartzique (dacitoïde) à Hb. (Prola)

(92) Ech. T.25

microdiorite quartzique (dacitoïde) à Hb. (Prola)

(93) Ech. T.17 bis (voir analyse 82)

mésostase microcristalline de la microtrondjémite du PC 90,2

(94) Ech. T.20

microdiorite quartzique (dacitoïde) à Biot. (Pierre Levée)

(95) Ech. T.19

microdiorite quartzique (dacitoïde) à Biot. (Pierre Levée)

DACITE PROVINCE LIGURO PROVENCALE

(96) Ech. P.L. 314

dac. CPX OPX (Biot, Le Terme blanc)

N°	★ 91	★ 92	★ 93	★ 94	★ 95	★ 96
SiO <sub>2</sub>	63,00	63,19	63,40	64,15	65,10	65,50
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,10	17,26	15,10	17,19	18,10	17,00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,70	2,72	2,20	1,71	2,04	3,36
FeO	1,35	1,27	2,50	0,80	1,00	0,72
MgO	2,15	1,42	1,74	0,85	0,90	0,57
CaO	5,80	4,92	4,67	4,77	4,80	5,42
Na <sub>2</sub> O	5,00	5,06	3,28	4,69	3,15	3,40
K <sub>2</sub> O	1,95	1,46	1,77	2,11	3,44	1,43
TiO <sub>2</sub>	0,40	0,40	0,63	0,27	0,25	0,53
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,43	0,18	0,60	0,16		0,14
MnO	0,14	0,11	0,06	0,03	0,04	0,04
H <sub>2</sub> O +	0,65	1,75	3,85	2,35	1,50	1,63
H <sub>2</sub> O -	0,50	0,13	0,36	0,16	0,20	0,97
total:	99,17	99,87	100,16	99,73	100,66	100,71
Ba		544		517		
Co		19		27		
Cr		81		54		
Cu		10 -		10 -		
Ni		15		20		
Sr		374		347		
V		82		125		
Rb		27		45		
C.I.P.W.						
Q	13,68	15,96	23,88	17,80	22,00	28,60
Or	11,67	8,61	10,56	12,45	20,34	8,34
Ab	42,44	42,75	27,72	39,61	26,61	28,30
An	15,56	20,04	19,68	22,62	23,82	26,00
Ne						
Co			0,53	0,87	0,43	0,40
Il	0,76	0,76	1,20	0,52	0,47	0,91
Ma	2,55	3,30	3,19	1,90	2,25	0,92
He		0,44		0,41	0,48	2,72
Di Ca	4,52					
Mg	3,51					
Fe	0,51					
Hy Mg	1,89	3,55	7,08	2,10	2,25	1,40
Fe	0,14		1,82			
Ol Mg						
Fe		1,50				
Wo		0,14				
Ap	1,01		1,40	0,13	-	0,12
Basicité						
Plagioclase	An 26	An 32	An 41	An 43	An 46	An 48
Norme						
S.Index:	17,70	11,88	15,14	8,36	8,54	8,51
D.Index:	67,79	67,32	62,16	69,86	68,95	65,24



## Dacites des provinces méridionales

## PROVINCE LIGURO - PROVENCALE

(97) Ech. P.L. 274 Estérellite  
dacite à biotite (Pierre Levée Estérel)

(98) Ech. T.18 (in J.D. Giraud, 1975) Estérellite  
dacite à biotite (Ferrières)

## Dacites des provinces méridionales

## PROVINCE SUB-ALPINE MERIDIONALE

(99) Ech. P.L. 197  
dacite à CPX - Hb (Saint Antonin, Préforans)

(100) Ech. P.L. 4  
dacite à CPX - Hb (Saint Antonin, Collongues)

(101) Ech. P.L. 153  
dacite à CPX - Hb (Saint Antonin, Petits brins)

(102) Ech. G.220 (in S. Touré 1981 a)  
dacite à CPX - Hb (Saint Antonin)

N°	☆ 97	☆ 98	▲ 99	▲ 100	▲ 101	▲ 102
SiO <sub>2</sub>	66,30	67,79	63,20	63,30	64,00	64,50
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17,20	16,30	15,90	16,70	16,60	15,70
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,89	4,43	3,00	4,84	2,65	4,14
FeO	1,50		2,05	0,34	2,20	0,72
MgO	0,82	1,45	1,44	0,92	1,30	1,19
CaO	4,16	2,32	6,65	6,14	6,32	6,97
Na <sub>2</sub> O	4,68	3,49	3,49	3,72	2,89	3,60
K <sub>2</sub> O	1,74	3,98	1,75	1,80	1,34	1,17
TiO <sub>2</sub>	0,35	-	0,63	0,60	0,62	0,48
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,16	0,25	0,23	0,26	0,18	0,17
MnO	0,06	-	0,07	0,09	0,07	0,16
H <sub>2</sub> O +	1,25	0,95	0,74	0,63	0,56	0,83
H <sub>2</sub> O -	0,22		0,64	0,68	0,65	0,79
total:	99,33	100,98	99,79	100,03	99,40	100,42
Ba	580					
Co	10 -					
Cr	87					
Cu	10 -					
Ni	20					
Sr	432					
V	73					
Rb	49					
C.I.P.W.						
Q	22,03	25,80	21,75	19,80	26,34	25,14
Or	10,28	23,50	10,56	10,56	7,92	6,67
Ab	39,56	29,50	29,34	31,44	24,10	20,50
An	19,73	10,00	22,50	23,35	30,30	23,35
Ne						
Co					0,81	
Il	0,35	2,69	1,18	1,14	1,17	0,91
Ma	1,27	1,38	4,40	1,74	3,82	1,39
He		2,94		3,60		3,20
Di Ca			3,82			
Mg			3,03			
Fe			0,35			
Hy Mg	2,05	3,60	0,57		3,20	3,00
Fe	1,54		0,06		0,95	
Ol Mg						
Fe						
Wo				2,34		4,41
Ap	0,37	0,60	0,55	0,60	0,40	0,40
Basicité Plagioclase Norme	An 33	An 25	An 42	An 42	An 55	An 43
S.Index:	10,73	6,01	15,48	7,86	12,52	11,01
D.Index:	71,87	78,80	61,65	61,80	58,36	52,31



## Dacites des provinces méridionales

## PROVINCE SUBALPINE MERIDIONALE

(103) Ech. P.L. 199

Dacite à Hb (Saint Antonin)

(104) Ech. S.15 J (in S. Touré 1981 a)

Dacite à Hb (Saint-Antonin)

(105) Ech. S.14 y (in S. Touré 1981 a)

Dacite à Hb. (Saint Antonin)

(106) Ech. Sa 30 I - A (in S. Touré 1981 a)

Rhyo - dacite à Hb. (Saint - Antonin)

N°	▲ 103	▲ 104	▲ 105	▲ 106
SiO <sub>2</sub>	65,20	67,80	68,40	68,70
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,70	14,90	15,40	14,80
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,19	0,23	0,42	0,67
FeO	0,72	3,23	2,65	2,58
MgO	1,20	1,78	1,18	1,07
CaO	5,44	1,30	3,00	3,12
Na <sub>2</sub> O	3,23	3,70	3,79	3,54
K <sub>2</sub> O	1,84	3,77	3,18	3,62
TiO <sub>2</sub>	0,53	0,44	0,41	0,40
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,22	0,20	0,24	0,15
MnO	0,08	0,07	0,03	0,07
H <sub>2</sub> O +	1,34	1,90	0,80	1,20
H <sub>2</sub> O -	0,90	0,37	0,22	0,17
total:	99,59	99,69	99,60	100,09
Ba				
Co				
Cr				
Cu				
Ni				
Sr				
V				
Rb				
C.I.P.W.				
Q	27,30	24,36	25,02	25,13
Or	11,12	22,40	18,90	21,13
Ab	27,20	31,44	31,96	29,87
An	20,00	5,56	13,34	13,90
Ne				
Co		2,65	0,82	
Il	0,91	0,70	0,76	0,76
Ma	0,92	0,23	0,70	0,93
He	3,52			
Di Ca				0,35
Mg				0,10
Fe				0,26
Hy Mg	3,00	4,40	2,80	2,60
Fe		5,28	3,83	3,43
Ol Mg				
Fe				
Wo	2,90			
Ap	0,55	0,34	0,67	0,34
Basicité Plagioclase Norme	An 42	An 15	An 30	An 32
S.Index:	13,09	14,01	10	9,30
D.Index:	65,62	78,20	75,88	76,13



## LAVES DES PROVINCES SEPTENTRIONALES

Province HELVETICO - SAVOYARDE

(107) Andésite (grés de Taveyanne) in J. Martini 1968

(108) Andésite (grés de Taveyanne) in de Quervain (1928)  
(C G. Vitally 1980)(109) Andésite (grés de Taveyanne) in de Quervain(1928)  
(Cf. G. Vitally 1980)

(110) Andésite (grés de Taveyanne) in G. Vitally 1980

(111) Andésite (Crêt du Loup, synclinal de Thônes)  
and. CPX - Hb (GT. 53 b Ech. J.Didier)(112) Andésite (Crêt du Loup, synclinal de Thônes)  
and. CPX - Hb (GT 53 c Ech. J. Didier)

N°	107	108	109	110	111	112
SiO <sub>2</sub>	41,50	42,39	45,31	45,75	46,10	47,50
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,76	17,55	18,57	18,13	16,50	17,00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,44	5,61	4,13	10,44	10,74	10,70
FeO	8,14	11,51	7,19		4,11	2,93
MgO	8,18	8,25	5,05	5,23	7,90	5,90
CaO	7,21	1,81	6,66	6,48	2,50	2,60
Na <sub>2</sub> O	2,82	1,94	3,04	2,73	3,50	3,05
K <sub>2</sub> O	0,85	3,34	1,67	0,61	1,00	2,00
TiO <sub>2</sub>	0,53	0,70	1,07	0,49	0,80	0,80
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,14		0,37	0,23		
MnO	0,22	0,30	0,33	0,17	0,23	0,25
H <sub>2</sub> O +	8,04	6,72	6,11	7,53	5,58	5,50
H <sub>2</sub> O -				0,49	0,10	1,88
CO <sub>2</sub>	3,80		0,57			
total:	99,65	100,12	100,07	100,28	99,06	100,11
Ba					305	1845
Co					35	35
Cr					15	5
Cu					35	30
Ni					35	30
Sr						385
V						
Rb					25	65
C.I.P.W.						
Q					2,91	7,83
					6,16	11,67
					29,34	25,67
					12,51	12,92
Co					5,14	5,05
Il					1,52	1,52
Ma					11,60	5,88
He					0,96	2,72
Di Ca						
Mg						
Fe						
Hy Mg					19,75	14,75
Fe						
Wo						
Ap						
Basicité Plagioclase Norme					An 30	An 33
S.Index:					29	24
D.Index:					38,41	45,17



## LAVES DES PROVINCES SEPTENTRIONALES

Province HELVETICO - SAVOYARDE

(113) Ech. Ta 21 b

Andésite vitreuse à Hb - CPX (Gisement de l'Arbaron)

(114) Andésite du synclinal de Thônes (in G. Sawatski 1975)

(115) Andésite<sup>te</sup> du synclinal de Thônes (de Quervain 1928  
in G. Vitally 1980)

(116) Andésite (grés de Taveyenne) in J. Martini (1968)

(117) Andésite (grés de Taveyenne) in J. Martini (1968)

(118) Andésite (synclinal de Thônes) in G. Sawatski 1975

N°	113	114	115	116	117	118
SiO <sub>2</sub>	48,10	50,32	51,36	51,52	51,75	52,72
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20,10	18,44	17,42	16,05	17,18	18,14
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,33	3,79	1,99	2,46	4,92	3,15
FeO	6,89	4,31	3,43	3,73	2,92	2,46
MgO	5,60	7,93	3,60	4,18	4,52	6,64
CaO	5,93	2,30	8,90	8,05	3,97	5,10
Na <sub>2</sub> O	3,75	4,65	4,25	5,43	6,20	4,08
K <sub>2</sub> O	0,95	1,86	3,18	1,56	2,13	1,87
TiO <sub>2</sub>	0,65	0,78	0,84	0,70	0,30	0,78
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,20	0,24	0,43	1,47	0,11	0,05
MnO		0,01	0,19	0,21	0,17	0,02
H <sub>2</sub> O +	4,03	5,56	1,91	3,49	4,74	4,67
H <sub>2</sub> O -	0,77					
CO <sub>2</sub>		0,08	0,72	0,90	0,90	1,00
total:	99,39	100,28	97,22	99,75	99,77	100,28
Ba						
Co						
Cr						
Cu						
Ni						
Sr						
V						
Rb						
C.I.P.W.						
Q						0,96
Or	5,56	11,12	18,90	9,23	12,72	11,12
Ab	31,70	39,30	25,83	41,92	44,67	34,58
An	28,35	10,00	18,76	14,73	12,51	24,46
Ne			5,43	1,95	4,18	
Co	2,30	4,99				0,30
Il	3,61	1,52	1,52	1,33	0,60	1,52
Ma	3,36	2,90	2,90	3,48	7,19	4,60
He						
DiCa				6,84	2,78	
Mg				4,43	2,38	
Fe				2,70	0,26	
HyMg	8,28	14,95				16,60
Fe	6,22	2,57				0,52
OlMg	4,04	3,39	13,25	4,20	6,24	
Fe	2,36	0,76	4,00	2,04		
WO						
Ap	0,47	0,55	1,00	3,46	0,23	0,11
Basicité Plagioclase Norme	An 47	An 20	An 33	An 26	An 21	An 40
S.Index;	29	35,18	22	24	21	40
D.Index:	37,26	50,42	50,16	53,10	61,57	46,66



## LAVES DES PROVINCES SEPTENTRIONALES

Province HELVETICO - SAVOYARDE

(119) Andésite (synclinal de Thônes) in G. Vitally 1980

(120) Ech. Ta 21

Andésite à CPX - Hb (Le Crêt du Loup)

(121) Ech. Ta 17

Brèche volcanique monogénique

CPX - Hb (Route du Mont)

(122) Ech. Ta 30

Brèche volcanique monogénique

CPX - Hb (Route du Mont)

(123) Ech. Ta 3

Filon de tuffisite (Coupe du Merdassier)

N°	119	120	121	122	123
SiO <sub>2</sub>	54,25	56,40	57,30	58,60	60,30
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,29	16,30	17,00	14,40	13,90
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,31	1,62	1,62	4,17	4,25
FeO	1,99	3,59	3,40	2,22	2,15
MgO	3,72	2,80	4,62	4,07	2,78
CaO	5,10	6,53	3,46	7,42	4,62
Na <sub>2</sub> O	5,60	3,97	4,78	2,78	4,44
K <sub>2</sub> O	3,29	2,29	1,79	1,63	1,86
TiO <sub>2</sub>	0,71	0,62	0,65	0,83	0,85
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,27	0,19		0,18	0,22
MnO	0,04	0,04		0,03	0,08
H <sub>2</sub> O +	3,28	4,73	3,80	3,34	3,64
H <sub>2</sub> O -		0,29	0,48	0,10	0,44
CO <sub>2</sub>	1,68				
total:	99,53	99,37	99,16	99,74	99,53
Ba					501
Co					46
Cr					69
Cu					19
Ni					33
Sr					474
V					168
Rb					57
Q		7,29	6,60	17,58	15,66
Or	19,46	13,34	10,56	9,61	11,12
Ab	40,03	33,54	40,34	23,58	37,72
An	14,92	19,74	17,23	34,18	12,23
Ne	3,94				
Co			0,82		
Il	1,33	1,18	1,22	1,52	1,67
Ma	1,85	2,32	2,32	4,87	4,64
He			5,28	0,80	0,96
Di Ca	3,71	4,75			
Mg	2,85	2,83			
Fe	0,46	1,67			
Hy Mg		4,70	11,50	10,20	6,95
Fe		2,57	3,82		
Ol Mg	4,51				
Fe	0,84				
Wo				5,80	4,00
Ap	0,63	0,43		0,43	0,50
Basicité Plagioclase Norme	An 25	An 37	An 29	An 48	An 24
S.Index:	25	19,52	29	27	18
D.Index	63,43	54,17	57,50	47,77	64,50



## ANALYSES CHIMIQUES DES PYROCLASTITES

des Provinces méridionales.

Les indices (a) qui suivent les numeros d'analyses correspondent aux valeurs des pourcentages d'oxyde ramenés à 100 (sans tenir compte de H<sub>2</sub>O)

(124) Ech. P.L. 435 Biot

Cendres fines (tranchée Spada)

(125) Ech. P.L. 436 Cendres fines (cinérites lacustres)  
Tranchée Spada)

(126) Ech. P.L. 449

"

"

(127) Ech. P.L. 465

"

"

(128) Ech. P.L. 469

"

"

(129) Ech. P.L. 53 (Biot) Tuf soudé, le Terme blanc.

(130) Ech. P.L. 66 (Biot) Matrice de nuée ardente, le Terme blanc

(131) Ech. P.L. 57 (Biot) Brèche vitreuse, le Terme blanc

(132) Ech. P.L. 73 (Biot) Tuf soudé, le Terme blanc

(133) Ech. P.L. 442 (Biot) Tuf soudé, Tranchée Spada.

	(124)	(124 a)	(125)	(125a)	(126)	(126a)	(127)	(127a)	(128)	(128a)
SiO <sub>2</sub>	52,10	57,25	54,00	59,34	52,10	57,00	49,70	56,03	50,00	55,55
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,00	19,78	17,80	19,56	17,30	18,92	18,60	20,96	18,20	20,22
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,30	5,82	4,28	4,70	5,34	5,84	4,54	5,18	4,92	5,46
FeO	0,60	0,65	0,10	0,10	0,14	0,15	0,14	0,15	0,43	0,47
CaO	4,58	5,03	4,38	4,81	4,42	4,83	5,39	6,07	5,59	0,62
MgO	2,03	2,23	1,47	1,61	2,04	2,23	1,69	1,90	1,66	1,84
MnO	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03
Na <sub>2</sub> O	2,14	2,35	3,36	3,69	2,48	2,71	2,95	3,32	3,47	3,85
K <sub>2</sub> O	0,81	0,89	0,87	0,95	0,82	0,89	0,75	0,84	0,66	0,73
TiO <sub>2</sub>	0,79	0,86	0,43	0,47	0,59	0,64	0,47	0,53	0,53	0,58
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,04	0,04	0,14	0,15	0,11	0,12	0,16	0,18	0,14	0,15
H <sub>2</sub> O(+)	4,84	5,31	4,26	4,68	5,66	6,19	4,30	4,84	4,09	4,54
H <sub>2</sub> O(-)	8,12		9,36		8,32		11,25		10,90	
	99,39	100,23	100,47	100,08	99,74	99,54	99,98	99,84	100,62	99,63
	(129)	(129a)	(130)	(130a)	(131)	(131a)	(132)	(132a)	(133)	(133a)
SiO <sub>2</sub>	53,40	54,48	59,40	59,40	50,30	52,67	53,90	55,00	56,10	56,10
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19,30	19,69	19,30	INCHANGÉE ANALYSE	17,70	18,53	19,80	20,20	19,40	INCHANGÉE ANALYSE
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,75	5,86	4,96		6,24	6,53	3,72	3,79	2,60	
FeO	1,79	1,82	1,32		2,29	2,39	1,87	1,90	3,95	
CaO	7,95	8,11	7,60		7,46	7,81	7,76	7,91	8,00	
MgO	2,17	2,21	0,64		3,38	3,53	2,80	2,85	2,70	
MnO	0,13	0,13	0,05		0,13	0,13	0,17	0,17	0,07	
Na <sub>2</sub> O	3,40	3,47	3,68		2,72	2,84	2,89	2,94	3,04	
K <sub>2</sub> O	1,03	1,05	1,12		0,90	0,94	0,95	0,97	1,28	
TiO <sub>2</sub>	0,79	0,80	0,79		0,70	0,73	0,80	0,82	0,77	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,19	0,19	0,29		0,20	0,21	0,19	0,19	0,16	
H <sub>2</sub> O(+)	2,13	2,17	0,90		3,48	3,64	3,09	3,15	0,57	
H <sub>2</sub> O(-)	1,93		0,79		5,18		2,33		0,50	
	99,88	99,98	100,84		100,68	99,95	100,27	99,89	99,14	

Les indices (a) signifient que les analyses ont été recalculées après abstraction de la valeur H<sub>2</sub>O (-) équivalant à une perte à 100 ° (essentiellement l'eau d'humidité accumulée dans les pores des pyroclastites)



(134)	Ech. P.L. 429	(Biot)	Cinériles (coupe tranchée Spada)
(135)	Ech. P.L. 409	(Biot)	Cinériles (coupe tranchée Spada)
(136)	Ech. P.L. 169	(Biot)	Brèche de nuée , Le Jas de Madame
(137)	Ech. P.L. 74	(La Vanade)	Tuf soudé
(138)	Ech. P.L. 432 a	(Biot)	Tuf ponceux (tranchée Spada)
(139)	Ech. P.L. 432	(Biot)	Ponce andésitique (tranchée Spada)
(140)	Ech. P.L. 441	(Biot)	Tuf soudé (tranchée Spada)
(141)	Ech. P.L. 460	(Biot)	Tuf intrusif (Jas de Madame)
(142)	Ech. P.L. 300	(Biot)	Cendres grossières (Le Terme blanc)
(143)	Ech. P.L. 4	(Cap d'Ail)	ciment de brèche andésitique

	(134)	(134a)	(135)	(135a)	(136)	(136a)	(137)	(137a)	(138)	(138a)
SiO <sub>2</sub>	49,10	54,31	53,20	57,51	53,40	54,48	52,10	54,84	49,60	52,39
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,10	20,02	17,30	18,70	18,50	18,80	17,70	18,63	18,00	19,00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,49	6,07	6,20	6,70	4,85	4,94	6,55	6,89	6,20	6,54
FeO	0,75	0,82	0,25	0,27	1,80	1,83	1,29	1,35	1,22	1,28
CaO	6,70	7,41	4,30	4,64	7,97	8,13	7,50	7,89	8,25	8,71
MgO	2,73	3,01	2,03	2,19	3,28	3,34	2,44	2,56	3,58	3,78
MnO	0,03	0,03	0,02	0,02	0,13	0,13	0,11	0,11	0,06	0,06
Na <sub>2</sub> O	3,04	3,36	2,70	2,92	2,27	2,31	2,87	3,02	2,36	2,49
K <sub>2</sub> O	1,28	1,41	0,52	0,56	0,78	0,79	0,84	0,88	0,48	0,50
TiO <sub>2</sub>	0,67	0,74	0,64	0,69	0,83	0,84	0,74	0,77	0,80	0,84
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,11	0,12	0,11	0,11	0,25	2,55	0,21	0,22	0,80	0,84
H <sub>2</sub> O(+)	3,45	3,81	5,42	5,85	2,73	2,78	2,80	2,94	4,02	4,24
H <sub>2</sub> O(-)	9,02		7,65		2,78		4,32		4,86	
	99,43	100,99	100,18	100,16	100,87	99,34	99,47	100,10	99,56	99,83
	(139)	(139a)	(140)	(140a)	(141)	(141a)	(142)	(142a)	(143)	(143a)
SiO <sub>2</sub>	51,80	55,40	56,50	56,50	45,30	48,44	49,70	53,44	52,30	52,30
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17,60	19,05	20,10		22,60	24,17	17,90	19,13	18,50	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,58	5,97	4,08		9,60	10,26	6,57	7,06	6,75	
FeO	1,15	1,23	1,83		0,50	0,53	1,80	1,93	1,94	
CaO	6,95	7,44	7,27		1,62	1,73	6,74	7,24	7,80	
MgO	2,52	2,69	1,87		1,48	1,58	3,02	3,24	3,02	
MnO	0,03	0,03	0,05		0,02	0,02	0,15	0,16	0,10	
Na <sub>2</sub> O	2,80	2,99	3,48		1,04	1,11	2,80	3,01	3,36	
K <sub>2</sub> O	0,55	0,58	1,32		0,38	0,40	0,70	0,75	0,95	
TiO <sub>2</sub>	0,74	0,79	0,78		1,03	1,10	0,96	1,03	1,07	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,09	0,09	0,20		0,09	0,09	0,19	0,20	0,34	
H <sub>2</sub> O(+)	3,59	3,84	0,84		9,88	10,56	2,48	2,66	2,96	
H <sub>2</sub> O(-)	5,78		0,85		7,04		7,55		0,66	
	99,18	100,10	99,17		100,58	99,59	100,56	99,85	99,75	



(144) Ech. P.L. 6 ciment de brèche andésitique (Cap d'Ail)

(145) Ech. P.L. 7 " " " "

(146) Ech. P.L. 107 Brèche andésitique (Cap d'Ail)

(147) Ech. P.L. 21 Cinérites fines (La Vanade)

(148) Ech. P.L. 22 " " " "

(149) Ech. P.L. 171 Ciment de brèche andésitique (La Vanade)

(150) Ech. P.L. 234 (1) Bloc andésitique (La Vanade)

(151) Ech. P.L. 234 (2) Ciment de la brèche emballant l'échantillon précédent.

(152) Ech. P.L. 482 Cendres fines (La Vanade)

(153) Ech. P.L. 110 Scorie dans les cendres andésitiques (La Vanade)

	(144)	(144 a)	(145)	(145a)	(146)	(146a)	(147)	(147a)	(148)	(148a)
SiO <sub>2</sub>	53,00	53,00	45,80	45,80	51,40	53,29	53,70	54,93	53,80	54,69
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,70		16,90		17,50	18,14	18,30	18,72	18,80	19,11
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,37		5,63		6,13	6,35	5,59	5,70	4,50	4,57
FeO	1,65		2,15		2,08	2,15	1,00	1,02	2,36	2,39
CaO	7,46		13,65		7,63	7,91	6,41	6,55	8,22	8,35
MgO	2,71		3,05		3,76	3,89	2,41	2,46	2,61	2,65
MnO	0,10		0,12		0,12	0,12	0,10	0,10	0,13	0,13
Na <sub>2</sub> O	3,80		3,30		3,45	3,57	2,95	3,01	3,08	3,13
K <sub>2</sub> O	1,09		0,78		0,92	0,95	0,68	0,69	0,93	0,94
TiO <sub>2</sub>	1,06		0,93		0,99	1,02	0,68	0,69	0,77	0,78
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,35		0,25		0,27	0,28	0,25	0,25	0,24	0,24
H <sub>2</sub> O(+)	2,68		7,13		2,20	2,28	5,68	5,81	2,92	2,96
H <sub>2</sub> O(-)	0,50		0,37		3,64		1,92		1,44	
	99,47		100,06		100,09	99,67	99,67	99,93	99,80	99,94
	(149)	(149a)	(150)	(150a)	(151)	(151a)	(152)	(152a)	(153)	(153a)
SiO <sub>2</sub>	54,00	55,44	55,20		51,70	53,68	51,60	54,48	59,30	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19,00	19,50	18,40		17,50	18,17	19,20	20,27	19,40	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,89	5,02	3,15		5,82	6,04	4,32	4,56	4,55	
FeO	2,15	2,20	3,84		2,40	2,49	1,25	1,32	0,60	
CaO	7,42	7,61	8,13		8,27	8,58	7,16	7,56	7,35	
MgO	2,89	2,96	2,54		3,30	3,42	3,03	3,19	0,90	
MnO	0,14	0,14	0,18		0,18	0,19	0,05	0,05	0,07	
Na <sub>2</sub> O	3,43	3,52	3,60		3,09	3,21	3,53	3,72	3,90	
K <sub>2</sub> O	0,79	0,81	1,94		0,86	0,89	0,43	0,45	1,50	
TiO <sub>2</sub>	0,61	0,62	0,83		0,79	0,82	0,59	0,62	0,62	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,22	0,22	0,29		0,20	0,20	0,16	0,16	0,20	
H <sub>2</sub> O(+)	1,90	1,95	0,90		2,20	2,28	3,38	3,57	0,75	
H <sub>2</sub> O(-)	2,52		1,08		3,26		5,85		0,93	
	99,96	99,99	100,08		99,57	99,97	100,55	99,95	100,07	



## ANALYSES CHIMIQUES DES PYROCLASTITES

des Provinces méridionales

Province sub-alpine méridionale

(154) P.L. 254 Ciment de brèche volcanique (Ruisseau de Fontanne)  
Saint - Antonin

(155) P.L. 256 Ciment de brèche volcanique (Ruisseau de Fontanne)  
Saint - Antonin

(156) P.L. 261 Ciment de brèche volcanique (Ruisseau de Fontanne)  
(emballant la roche P.L. 260) Saint-Antonin.

(157) P.L. 175 Ciment de brèche volcanique ,Saint Antonin.

(158) P.L. 81 Ciment de brèche volcanique (Collongues, Saint Antonin)

(159) P.L. 97 Ciment de brèche volcanique (Saint-Antonin

LIGURO PROVENCALE :(district de Forcalquier)

(160) P.L. FO (1) 277 : cinérite oligocène (Forcalquier)

(161) P.L. FO (2) 278 : " " " "

(162) P.L. FO (3) 279 : " " " "

## C O R S E

(163) CO 11. Tuf ignimbritique (Ballistra Capi Biancu)

	(154)	(154a)	(155)	(155a)	(156)	(156a)	(157)	(157a)	(158)	(158a)
SiO <sub>2</sub>	54,20	55,93	61,30	62,55	54,80	57,53	51,20	53,60	62,20	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17,80	18,37	16,80	17,14	17,00	17,84	17,70	18,53	17,20	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,55	4,69	3,56	3,63	4,40	4,62	4,20	4,39	3,44	
FeO	2,58	2,66	1,36	1,38	2,23	2,34	2,69	2,81	1,44	
CaO	7,75	7,99	6,17	6,29	6,62	6,95	7,62	7,97	6,79	
MgO	3,29	3,39	1,65	1,68	2,96	3,10	3,97	4,15	1,13	
MnO	0,15	0,15	0,08	0,08	0,14	0,14	0,13	0,13	0,07	
Na <sub>2</sub> O	3,12	3,22	3,69	3,76	3,39	3,56	2,90	3,03	3,36	
K <sub>2</sub> O	0,65	0,67	1,39	1,41	0,67	0,70	0,53	0,55	1,35	
TiO <sub>2</sub>	0,65	0,67	0,65	0,66	0,66	0,70	0,62	0,65	0,51	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,21	0,21	0,27	0,27	0,26	0,27	0,20	0,21	0,19	
H <sub>2</sub> O (+)	1,94	2,00	1,05	1,07	2,12	2,22	3,73	3,90	1,13	
H <sub>2</sub> O (-)	3,10		2,16		4,29		4,45		0,72	
	99,99	99,95	100,13	99,70	99,54	99,97	99,94	99,92	99,52	
	(159)	(159a)	(160)	(160a)	(161)	(161a)	(162)	(162a)	(163)	(163a)
SiO <sub>2</sub>	53,90		47,60		58,00	62,90	36,90		69,10	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19,20		29,50		13,60	14,75	12,20		14,00	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,09		5,49		2,82	3,05	2,84		1,37	
FeO	3,95						2,24		0,47	
CaO	8,84		0,64		3,77	4,08	20,30		1,95	
MgO	3,77		0,24		1,43	1,55	3,35		0,91	
MnO	0,16		0,04		0,06	0,06	0,27		0,06	
Na <sub>2</sub> O	3,59		0,17		0,26	0,28	2,57		3,32	
K <sub>2</sub> O	0,65		1,55		0,18	0,19	1,33		3,24	
TiO <sub>2</sub>	0,68		1,50		0,29	0,31	0,50		0,19	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,20		0,21		0,06	0,06	0,25		0,05	
H <sub>2</sub> O(+)	1,35		12,80		11,73	12,72	16,00		3,80	
H <sub>2</sub> O(-)	0,60		0,78		7,02		1,46		1,08	
	99,98		100,52		99,22	99,95	100,41		99,54	



## ANALYSE CHIMIQUE DES MESOSTASES VITREUSES

des laves andésitiques et des dacitoïdes des provinces méridionales  
et des pyroclastites associées.

- [164] Mésostase de la roche P.L. 1 (roche totale, analyse N°36)  
[165] " " "  
[166] " " "  
[167] Mésostase de l'andésite P.L. 805 (roche totale, analyse N° 24)  
[168] " " "  
[169] Mésostase de la roche P.L. 20 (roche totale, analyse N° 27)  
[170] " " "  
[171] Mésostase de la shoshonite V.M. (roche totale, analyse N° 60 b)  
[172] Mésostase vitreuse d'une pyroclastite andésitique P.L. 300  
[173] " " " (roche totale, analyse N°142)  
[174] " " " " "  
[175] " " " " "  
[176] Mésostase vitreuse d'une pyroclastite andésitique (roche totale  
[177] P.L. analyse N° 155 )  
[178] 256

N-B : Les indices (a) correspondent aux analyses chimiques des verres volcaniques ramenées à 100.

	164	165	166	167	168	169	170	171
Si O <sub>2</sub>	62,83	60,17	69,45	63,52	68,99	70,91	71,78	64,85
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,59	18,93	19,10	21,39	15,07	12,42	13,63	14,05
Fe O	9,80	3,81	2,16	1,71	4,00	4,36	4,00	2,51
Mg O	3,58	1,14	0,52	0,07	0,12	0,35	0,23	0,09
Ca O	2,11	1,31	2,08	5,35	2,40	0,73	0,69	0,54
Na <sub>2</sub> O	4,70	2,10	4,45	4,63	5,50	3,42	2,05	3,06
K <sub>2</sub> O	4,13	5,62	5,99	2,08	3,25	5,34	4,43	7,45
Mn O	0,40	0,06	0,06	0,12	0,15		0,17	
Ti O <sub>2</sub>	0,29	0,13	0,39	0,32	0,74	1,36	0,94	0,58
Zn O	0,03							
Total	101,40	93,27	104,20	99,20	100,26	98,89	97,93	93,13
	164 a	165 a	166 a			169a	170a	171a
Si O <sub>2</sub>	61,96	64,51	66,74			71,70	73,29	69,63
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,40	20,30	18,33			12,56	13,92	15,08
Fe O	9,66	4,08	2,07			4,40	4,08	2,70
Mg O	3,58	1,22	0,50			0,35	0,23	0,10
Ca O	2,08	1,40	1,99			0,74	0,70	0,58
Na <sub>2</sub> O	4,63	2,25	4,27			3,46	2,09	3,28
K <sub>2</sub> O	4,07	6,03	5,77			5,40	4,52	8,00
Mn O	0,39	0,06	0,05				0,17	
Ti O <sub>2</sub>	0,28	0,14	0,37			1,37	0,96	0,62
	172	173	174	175	176	177	178	
Si O <sub>2</sub>	74,55	79,12	76,11	67,13	78,75	77,25	75,72	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,54	12,26	12,63	19,29	12,03	11,92	12,56	
Fe O	1,75	1,93	2,32	4,27	2,63	1,64	1,82	
Mg O	0,31	0,10	0,14	1,67	0,08	0,10	0,01	
Ca O	1,09	0,51	0,24	1,93	0,79	0,59	0,46	
Na <sub>2</sub> O	2,04	0,97	1,00	3,56	0,73	0,48	1,39	
K <sub>2</sub> O	2,00	3,38	2,64	3,66	1,10	0,92	1,25	
Mn O		0,07	0,14	0,03	0,06	0,07	0,01	
Ti O <sub>2</sub>	0,34	0,36	0,39	0,16	0,44	0,42	0,40	
Total	96,91	98,71	95,64	101,70	96,61	93,40	93,63	
	182a	183a	184a	185a	176a	177a	178a	
Si O <sub>2</sub>	76,93	80,15	79,58	66,00	81,51	82,70	80,87	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,00	12,49	13,20	18,96	12,45	12,76	13,41	
Fe O	1,81	1,95	2,42	4,20	2,72	1,75	1,94	
Mg O	0,32	0,10	0,14	1,64	0,08	0,10	0,01	
Ca O	1,12	0,52	0,25	1,90	0,81	0,63	0,49	
Na <sub>2</sub> O	2,10	0,98	1,04	3,50	0,75	0,51	0,48	
K <sub>2</sub> O	2,06	3,42	2,76	3,60	1,13	0,98	1,33	
Mn O		0,07	0,14	0,03	0,06	0,07	0,01	
Ti O <sub>2</sub>	0,35	0,36	0,41	0,15	0,45	0,44	0,42	



(179) Mésostase vitreuse d'une andésite P.L. 260 (roche totale, analyse  
N° 88)

(180) " " " "

(181) " " " "

(182) Mésostase vitreuse d'une andésite P.L. 237 bis ( roche totale, analyse  
N° 53)

(183) " " " "

(184) " " " "

(185) Mésostase vitreuse d'une Estérellite (Estérellite des Cou)  
(roche totale analyse n° 60)

	179	180	181	182	183	184	185
Si O2	75,85	77,53	67,14	67,56	67,07	72,05	69,29
Al2 O3	14,57	10,79	19,59	14,50	15,03	15,48	18,68
Fe O	1,14	0,39	0,34	2,32	2,19	0,90	0,26
Mg O				1,23	1,11	0,45	tr.
Ca O	5,46	0,78	2,36	1,83	1,87	0,90	0,56
Na2 O	1,76	2,61	1,68	2,04	2,39	1,78	7,11
K2 O	4,03	4,44	3,40	3,13	3,27	3,96	4,17
MnO	0,01				0,13	0,03	-
Ti O2	0,12	0,11	0,04	0,10	0,43		-
Total	102,93	96,66	94,56	92,71	93,51	95,54	100,06
	179a	180a	181a	182a	183a	184a	
Si O2	73,69	80,21	71,00	72,87	71,72	75,41	
Al2 O3	14,15	11,16	20,72	15,64	16,07	16,20	
Fe O	1,10	0,40	0,36	2,50	2,34	0,94	
Mg O				1,33	1,19	0,47	
Ca O	5,30	0,80	2,49	1,97	2,00	0,94	
Na2 O	1,70	2,70	1,77	2,20	2,56	1,86	
K2 O	3,91	4,59	3,59	3,37	3,50	4,14	
Mn O	0,01				0,13	0,03	
Ti O2	0,11	0,11	0,04	0,10	0,46		



## ANALYSE DES MINÉRAUX DES LAVES

ANDÉSITIQUES et roches associées des Provinces méridionales

Liguro - Provençale

- FELDSPATHS Plagioclases et Alcalins

abréviations: P = phénocristal

(Pc=centre du phénocristal

(Pi=zone intermédiaire)

(Pb=bordure du phénocristal)

M = microcristal

(1) Plagioclase enclave homoeogène (anal. roche P.L. 360 n°3)

(2) Plagioclase " " ( " " P.L. 341 n°10)

(3) Plagioclase " " ( " " P.L. 328 n°8)

(4) Plagioclase " " ( " " P.L. 328 n°8)

(5) Plagioclase " " ( " " P.L. 275 n°15)

(6) Plagioclase " " ( " " P.L. 52 n°13)

(7) Plagioclases " " ( " " P.L. 340 n°11)

à

(11)

(12) Feldspaths enclave homoeogène (anal. roche P.L. 350 n° 16)

à (13) Orthose

(17) (12), (14), (15), (16), (17) : plagioclases

(18) Plagioclases andésite basique P.L. 1 (anal. roche totale p.12 n°36)

à (18) Pc, (19)Pi, (20)Pb, (21) M, (22)Pc

(22)

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
SiO <sub>2</sub>	54,15	55,96	56,45	59,21	50,21	51,30	58,16	70,05	58,80	59,06	60,66
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	27,15	28,36	27,50	26,37	24,63	32,64	26,89	19,53	27,50	27,31	26,98
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>											
FeO	0,13	0,24	0,04	0,16	0,02	0,55	0,39	0,09	0,18	0,31	0,19
MgO	-	-	-	0,02	-	-	-	-	-	-	-
MnO	-	-	-	0,04	0,57	-	0,03	-	-	0,01	-
TiO <sub>2</sub>	0,01	0,03	-	-	-	-	-	-	-	-	0,02
CaO	9,37	10,82	9,71	8,12	8,97	14,51	9,02	0,05	8,82	9,01	8,84
Na <sub>2</sub> O	6,18	5,45	6,09	6,05	6,56	2,95	6,60	0,75	5,93	6,10	5,47
K <sub>2</sub> O	0,28	0,33	0,11	0,20	0,16	-	0,31	14,80	0,25	0,21	0,28
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	0,04	0,09	-	-	-	-	-	-	-	-
ZnO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
tot:	97,20	101,23	100,01	100,16	91,13	101,98	101,39	105,26	101,48	102,01	102,04
Ab	53,30	46,80	52,82	56,71	56,44	26,00	55,98	7,11	54,05	54,39	53,02
Or	1,45	1,86	0,65	1,21	0,93	-	1,71	92,61	1,49	1,23	1,81
An	45,00	51,00	46,53	42,08	42,63	74,00	42,31	0,28	44,46	44,38	45,17
	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	(21)	(22)
SiO <sub>2</sub>	62,79	64,63	62,08	63,37	62,19	62,63	53,11	54,97	52,26	58,10	45,68
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	24,60	18,83	25,00	24,10	25,17	25,00	27,64	27,73	26,70	25,36	33,85
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FeO	0,09	0,01	0,01	0,02	0,12	0,02	1,22	0,75	0,81	0,86	0,85
MgO	-	-	-	-	-	-	0,53	0,10	0,12	0,07	-
MnO	0,05	-	0,02	0,01	0,04	0,07	0,13	-	0,02	0,07	-
TiO <sub>2</sub>	-	-	0,03	-	0,03	-	-	-	0,03	0,01	-
CaO	5,39	-	5,42	4,78	5,68	5,58	10,05	9,79	8,87	7,26	16,53
Na <sub>2</sub> O	8,52	0,61	8,48	8,83	8,46	8,59	4,49	5,33	5,95	6,81	1,54
K <sub>2</sub> O	0,41	17,06	0,44	0,47	0,40	0,34	0,27	0,26	0,44	0,64	0,06
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,01	0,03	-	-	-	0,02	-	-	-	0,04	0,01
ZnO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,02	-
tot:	101,86	101,16	101,39	101,57	102,09	102,26	97,45	98,93	99,42	99,24	98,18
Ab	72,39	5,19	72,09	74,86	71,31	72,23	43,93	48,83	53,42	60,56	14,39
Or	2,30	94,51	2,44	2,62	2,22	1,87	1,76	1,55	2,58	3,77	0,39
An	25,32	-	25,47	22,42	26,47	25,90	54,32	49,62	44,00	35,67	85,22



Minéraux des laves andésitiques et roches associées (Provinces méridionales)

## Liguro-Provençale

(23) Plagioclases d'une andésite basique P.L. 20 (anal. roche totale n° 27)

à (23)Pi, (24)Pi, (25)Pb, (26)M, (27)M

(27)

(28) Plagioclases d'une andésite basique P.L. 805 (anal. roche totale n° 24)

à (28)Pc, (29)Pb, (30)M, (31)M

(31)

(32) Plagioclases d'une shoshonite (V.M. anal. n° 60b) in C. Christy 1982

à (32)Pc, (33)Pi, (34)Pb, (35), (36), (37), (38)M.

(38) Plagioclases d'une pyroclastite (P.L. 300 anal. n° 142)

à (39)Pc, (40)Pi, (41)Pi, (42)Pb, (43)M, (44)M

(44)

	(23)	(24)	(25)	(26)	(27)	(28)	(29)	(30)	(31)
SiO <sub>2</sub>	50,62	50,54	50,88	58,16	66,46	47,28	52,60	55,74	51,52
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	31,14	30,61	29,47	25,65	22,07	34,52	29,59	28,98	32,27
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>									
FeO	0,58	0,49	0,62	0,72	0,80	0,43	0,53	0,58	0,61
MgO	0,02	0,04	0,07	0,03			0,05	0,02	
MnO				0,04	0,09		0,01	0,04	0,03
TiO <sub>2</sub>				0,04	0,06	0,03	0,04		
CaO	13,80	13,40	12,68	7,30	3,33	16,85	12,22	10,88	13,84
Na <sub>2</sub> O	3,28	3,51	3,86	6,71	6,01	1,62	4,14	5,72	3,48
K <sub>2</sub> O	0,19	0,21	0,23	0,69	1,87	0,05		0,77	0,40
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		0,01			0,01		0,05		
ZnO			0,86						
total	99,62	98,80	98,66	99,34	100,69	100,74	99,22	102,72	102,16
Ab	29,70	31,74	35,04	59,94	66,19	14,74	38,02	46,74	30,57
Or	1,12	1,23	1,37	4,04	13,57	0,28		4,12	2,31
An	69,18	67,03	63,59	36,02	20,24	84,97	61,98	49,13	67,12
	(32)	(33)	(34)	(35)	(36)	(37)	(38)	(39)	(40)
SiO <sub>2</sub>	47,89	50,67	51,77	52,35	55,08	55,94	57,26	49,35	51,33
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	31,33	29,85	28,79	28,65	26,62	27,77	26,28	30,83	29,30
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>									
FeO	0,77	0,95	0,95	0,99	0,46	0,96	0,96	0,61	0,54
MgO								0,06	0,10
MnO								0,02	
Ti								0,05	
CaO	16,58	14,65	13,79	12,39	10,19	10,46	9,24	13,42	11,90
Na <sub>2</sub> O	2,33	3,24	3,57	4,24	5,52	5,13	5,08	3,87	4,71
K <sub>2</sub> O	0,12	0,29	0,36	0,36	0,55	0,60	1,06	0,17	0,21
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>									
ZnO									
total:	99,02	99,63	99,23	98,99	98,41	100,86	99,88	98,39	98,09
Ab	20,14	28,10	31,22	37,44	47,96	45,37	46,68	33,93	41,23
Or	0,73	1,70	2,13	2,12	3,19	3,55	6,45	0,99	1,21
An	79,26	70,33	66,78	60,58	48,99	51,21	47,01	65,08	57,56



## Minéraux des andésites et roches associées des provinces méridionales

## Liguro - Provençale

(45) Plagioclases d'une microdiorite (Estérellite des Cou, anal. roche totale  
à T.3 n° 60)

(45)Pb, (46)Pb, (47)M, (48)M, (49)M

(49)

(50) Plagioclases d'une microdiorite (Estérellite du Drammont, anal. roche totale

à (50)P1, (51)P1, (52)Pb, T.11 n° 74)

(55) (53)M, (54)M, (55)Pc

(56) Plagioclases d'une microdiorite quartzique à biotite (Estérellite de Pierre

à (56)M, (57)Pb, (58)Pb levée P.L. 274 anal. roche totale n° 97)

(58)

(59) Feldspaths de l'enclave P.L. 275 (Plagioclase albitisé: 59)  
roche totale analyse 15

(60) Plagioclase de l'enclave P.L. 275

	(41)	(42)	(43)	(44)	(45)	(46)	(47)	(48)	(49)
SiO <sub>2</sub>	51,63	51,63	52,35	49,44	58,05	56,64	59,60	57,47	57,79
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	28,87	29,11	28,48	30,18	26,84	29,23	26,61	28,40	27,19
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>									
FeO	0,59	0,62	0,75	0,51	0,41	0,38	0,40	0,40	0,15
MgO	0,07	0,06	0,11	0,03					
MnO					0,07	0,06		0,01	0,04
TiO <sub>2</sub>			0,03		0,01	0,02	0,01		0,03
CaO	11,86	12,32	11,02	13,08	7,97	6,65	7,50	10,05	9,13
Na <sub>2</sub> O	4,88	4,84	5,12	4,17	6,97	5,94	8,28	5,55	5,72
K <sub>2</sub> O	0,20	0,20	0,35	0,16	0,48	0,19	0,43	0,24	0,17
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,06					0,09			
ZnO			0,11						
total	98,16	98,78	98,38	97,57	100,79	99,19	102,82	102,11	100,32
Ab	42,21	41,11	44,76	36,21	59,61	60,99	65,14	49,29	52,00
Or	1,14	1,11	2,00	0,93	2,68	1,28	2,25	1,40	1,01
An	56,65	57,78	53,24	62,85	37,70	37,73	32,61	49,31	46,00
	(50)	(51)	(52)	(53)	(54)	(55)	(56)	(57)	(58)
SiO <sub>2</sub>	67,93	69,34	57,59	56,70	57,20	67,74	60,66	62,07	60,79
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	23,43	22,81	27,13	28,54	28,14	20,17	26,31	26,35	26,42
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>									
FeO	0,01	0,02	0,13	0,30	0,32	0,01		0,14	0,09
MgO									
MnO			0,01	0,04		0,02	0,01		
TiO <sub>2</sub>	0,02			0,01					
CaO	3,52	2,84	8,59	10,08	9,91	2,58	7,48	7,08	7,50
Na <sub>2</sub> O	6,51	6,75	6,73	5,90	5,97	9,74	6,63	7,79	7,46
K <sub>2</sub> O	0,07	0,08	0,19	0,22	0,28	0,09	0,31	0,25	0,33
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>									
total	101,50	101,84	100,37	101,79	101,82	100,35	101,52	103,68	102,59
Ab	76,78	80,65	57,15	50,78	51,32	86,76	60,44	65,65	63,09
Or	0,05	0,06	0,98	1,24	1,59	0,53	1,85	1,73	1,83
An	23,00	18,80	41,80	47,98	47,09	12,71	37,72	32,97	35,08



## Minéraux des andésites et roches associées des provinces méridionales

## Subalpine méridionale

(61) Plagioclases de l'andésite basique P.L. 237 bis (Saint Antonin, analyse  
roche totale n° 53)

à (61)M, (62)Pb, (63)Pb, (64)Pb, (65)M, (66)M.

(66)

(67) Plagioclases de l'andésite P.L. 260 (Saint Antonin, analyse  
roche totale n° 88)

à

(67)Pc, (68)Pi, (69)Pi, (70)Pb, (71)M, (72)M, (73)M

(73)

(74) Plagioclases d'une pyroclastite P.L. 256 (Saint-Antonin, analyse  
roche totale n° 155)

à

(79) (74)Pc, (75)Pi, (76)Pi, (77)Pb, (78)M, (79)M,

	(59)	(60)	(61)	(62)	(63)	(64)	(65)	(66)	(67)
SiO <sub>2</sub>	67,38	59,42	52,82	58,97	55,64	55,50	58,52	54,80	55,65
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20,66	26,51	30,25	26,07	28,37	28,91	26,47	29,03	28,42
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>									
FeO		0,22	0,43	0,55	0,52	0,45	0,58	0,70	0,46
MgO		0,04	0,07						
MnO		0,06	0,03		0,01	0,02			0,01
TiO <sub>2</sub>							0,03	0,03	0,01
CaO	0,68	8,88	10,74	7,99	8,88	11,22	8,52	11,14	10,40
Na <sub>2</sub> O	11,81	5,53	4,18	6,39	5,54	5,20	6,66	5,17	5,35
K <sub>2</sub> O	0,08	0,19	0,13	0,45	0,35	0,24	0,52	0,29	0,30
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		0,03			0,01	0,02			0,05
ZnO				0,01	0,01				
Total	100,67	100,88	98,65	100,44	99,31	101,53	101,30	101,16	100,70
Ab	96,47	52,37	40,96	57,54	51,89	45,01	56,87	44,91	47,30
Or	0,45	1,17	0,86	2,69	2,15	1,36	2,91	1,66	1,50
An	3,08	4,64	58,18	39,77	45,97	53,62	40,22	53,43	51,15
	(68)	(69)	(70)	(71)	(72)	(73)	(74)	(75)	(76)
SiO <sub>2</sub>	59,38	53,24	52,01	57,98	57,42	57,90	44,21	45,30	48,32
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	27,07	29,32	29,65	26,44	27,92	27,36	34,51	33,69	31,17
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>									
FeO	0,27	0,47	0,52	0,33	0,37	0,39	0,64	0,69	0,47
MgO									
MnO	0,01			0,01	0,05	0,05			0,04
TiO <sub>2</sub>	0,04								
CaO	8,40	12,50	13,02	8,84	9,43	10,08	16,63	16,02	13,38
Na <sub>2</sub> O	6,34	4,01	4,48	5,69	6,14	5,60	1,72	2,17	3,77
K <sub>2</sub> O	0,53	0,18	0,22	0,32	0,51	0,39		0,06	0,17
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,02					0,01	0,03	0,02	0,21
ZnO								0,04	
total	102,07	99,73	99,90	99,61	101,85	101,78	97,75	97,99	97,53
Ab	55,80	36,30	37,80	52,70	52,50	49,03	15,77	19,59	33,42
Or	2,85	1,03	1,19	1,96	2,88	2,23		0,36	1,02
An	41,03	62,60	61,00	45,31	44,60	48,73	84,23	80,04	65,57



## Minéraux des andésites et roches associées des provinces septentrionales

## Province du Champsaur

(80) Plagioclases albitisés (grés P.L. 708 Champsaur)

à (80)Pb, (81)Pc, (82)M, (83)M

(83)

(84) Plagioclases albitisés (grés P.L. 712 Champsaur)

à (84)Pb, (85)Pc, (86)M

(86)

(87) Plagioclases albitisés et oligoclases (grés P.L. 705, Champsaur)

à (87) M, (88)M, (89)M, (90)M

(90)

## Province Helvético - Savoyarde

(91) Plagioclases d'une andésite vitreuse (G.T. 53b, anal.n° 111)

à (91)M, (92)c, (93)i, (94)b

(94)

(95) Plagioclases d'une andésite (Ta 21 analyse 120)

à (95)Pi, (96)Pc, (97)M, (98)Pb, (99)Pi, (100)Pi, (101)Pc

(101)

(102) Plagioclases d'une andésite (Ta 21 suite)

à (102)M, (103)Pb, (104)Pi, (105)Pi, (106)Pc.  
(106)

	(77)	(78)	(79)	(80)	(81)	(82)	(83)	(84)	(85)
SiO <sub>2</sub>	51,96	50,20	54,61	74,26	73,27	73,60	69,01	67,63	74,37
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	28,48	29,12	26,54	22,08	21,09	21,32	20,72	19,76	20,79
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>									
FeO	0,59	0,58	0,66	0,09	0,05	0,18	0,18	0,19	0,09
MgO	0,04					0,02			
MnO			0,06			0,01		0,06	0,07
TiO <sub>2</sub>			0,02	0,03		0,04			
CaO	10,57	12,42	8,80	0,74	0,83	0,81	0,88	0,93	0,35
Na <sub>2</sub> O	5,17	4,65	6,19	6,55	7,63	7,60	10,82	7,88	6,84
K <sub>2</sub> O	0,30	0,31	0,51	0,07	0,07	0,05	0,09	0,04	0,10
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>			0,06						0,03
ZnO	0,02								
total:	97,13	97,37	97,58	103,82	102,93	103,64	101,70	96,49	102,63
Ab	46,15	39,54	54,35	93,52	93,80	94,09	95,17	93,59	96,42
Or	1,75	1,77	2,96	0,63	0,56	0,39	0,55	0,33	0,89
An	52,08	58,59	42,69	5,85	5,64	5,52	4,29	6,07	2,69
	(86)	(87)	(88)	(89)	(90)	(91)	(92)	(93)	(94)
SiO <sub>2</sub>	68,17	67,35	66,83	41,54	64,24	52,00	51,16	52,95	72,48
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20,79	19,36	20,12	26,26	19,20	30,73	29,97	29,97	20,00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>									
FeO	0,34	0,01	0,26	3,91	1,62	0,45	0,81	0,49	0,35
MgO					0,18	0,02	0,05		
MnO	0,01	0,01	0,41	0,21		0,02	0,09	0,03	
TiO <sub>2</sub>				0,05					0,02
CaO	1,06	4,32	5,12	20,49	4,49	13,51	13,53	12,37	0,12
Na <sub>2</sub> O	6,42	8,71	10,72	1,56	8,69	3,62	3,46	4,03	0,41
K <sub>2</sub> O	0,57	0,13	0,20		1,41	0,20	0,19	0,27	14,04
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>				0,64		0,03	0,01		
ZnO									
total:	97,35	99,89	103,68	95,93	99,84	100,58	99,26	99,87	107,04
Ab	86,99	97,78	78,36		71,82	32,29	31,25	36,48	4,26
Or	5,07	0,98	0,95		7,67	1,16	1,12	1,61	95,09
An	7,94	1,25	20,69		20,51	66,55	67,62	61,90	0,66



	(95)	(96)	(97)	(98)	(99)	(100)	(101)	(102)	(103)
SiO <sub>2</sub>	55,54	56,73	53,30	55,44	50,72	54,25	48,40	50,35	51,11
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	28,31	27,85	28,06	27,31	30,33	27,90	31,48	29,17	27,92
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>									
FeO	0,51	0,42	0,38	0,40	0,70	0,26	0,31	0,66	0,39
MgO	0,03	0,10						0,01	0,04
MnO	0,04	0,08			0,05	0,03	0,06		0,05
TiO <sub>2</sub>			0,04						0,07
CaO	10,82	9,94	10,37	9,16	12,55	9,96	13,81	11,91	10,69
Na <sub>2</sub> O	4,33	5,45	5,59	6,29	4,60	6,04	3,61	4,77	5,64
K <sub>2</sub> O	0,42	0,38	0,25	0,31	0,21	0,31	0,15	0,24	0,24
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>			0,03				0,07	0,31	
ZnO									0,12
total:	100,80	100,96	98,02	98,91	98,87	98,76	97,88	97,42	96,27
Ab	47,07	48,70	48,70	54,43	39,41	51,41	31,82	41,45	48,19
Or	2,42	2,24	2,41	1,75	1,21	1,75	0,87	1,38	1,34
An	52,50	49,06	49,83	43,82	59,38	46,84	67,31	57,17	50,47
	(104)	(105)	(106)						
SiO <sub>2</sub>	53,51	51,52	56,59						
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	26,76	27,64	25,81						
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>									
FeO	0,26	0,20	0,25						
MgO		0,02							
MnO									
TiO <sub>2</sub>	0,03								
CaO	9,00	10,35	7,92						
Na <sub>2</sub> O	6,49	5,60	6,88						
K <sub>2</sub> O	0,36	0,28	0,31						
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>			0,11						
ZnO									
total	96,39	95,61	97,86						
Ab	55,46	48,65	60,07						
Or	2,03	1,62	1,77						
An	42,52	49,73	38,16						

## AMPHIBOLES des andésites et roches associées (Provinces méridionales)

	(107)	(108)	(109)	(110)	(111)	(112)	(113)	(114)	(115)	(116)
SiO <sub>2</sub>	42,26	41,69	44,24	42,43	43,87	44,38	41,47	40,00	45,15	41,15
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,45	14,10	10,90	12,34	11,58	11,35	12,22	14,57	10,38	11,03
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,71	10,72	13,78	14,75	12,68	12,49	15,70	13,68	16,41	15,15
MnO	0,25	0,03	0,28	0,36	0,26	0,39	0,31	0,08	0,42	0,28
MgO	13,60	13,97	13,27	12,17	13,89	14,41	11,66	12,72	11,67	12,88
TiO <sub>2</sub>	2,21	1,47	1,25	1,62	2,07	2,37	2,37	2,53	1,64	2,77
CaO	9,97	10,59	10,46	9,82	10,92	11,07	11,51	12,00	9,98	10,76
Na <sub>2</sub> O	2,57	2,58	2,17	2,47	2,42	2,32	2,59	2,55	3,13	2,45
K <sub>2</sub> O	0,60	0,57	0,62	0,59	0,69	0,63	0,56	0,68	0,71	0,59
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>										
Total:	95,61	95,72	97,02	96,58	98,40	99,43	98,38	98,81	99,48	97,06
Base 23 Oxygènes										
Si <sup>IV</sup>	6,363	6,204	6,572	6,370	6,412	6,412	6,181	6,008	6,620	6,200
Al <sup>IV</sup>	1,637	1,796	1,428	1,630	1,588	1,588	1,819	1,992	1,380	1,800
Al <sup>VI</sup>	0,394	0,677	0,478	0,552	0,407	0,345	0,300	0,576	0,400	1,161
Fe	1,600	1,333	1,710	1,851	1,549	1,509	1,945	1,713	2,000	1,912
Mn	0,032	0,003	0,035	0,045	0,032	0,047	0,038	0,009	0,047	0,036
Mg	3,051	3,099	2,935	2,722	3,025	3,103	2,606	2,865	2,558	2,898
Ti	0,250	0,164	0,140	0,182	0,227	0,257	0,264	0,284	0,180	0,314
Ca	1,607	1,687	1,662	1,578	1,709	1,713	1,839	1,932	1,562	1,740
Na	0,748	0,745	0,623	0,718	0,686	0,648	0,752	0,740	0,887	0,717
K	0,115	0,108	0,117	0,122	0,128	0,116	0,107	0,130	0,132	0,112
total	15,801	15,820	15,702	15,769	15,768	15,743	15,850	16,240	15,760	15,900
Base à 13 cations (NEUMANN)										
Si	6,220	6,071	6,423	6,194	6,280	6,280	6,095	5,800	6,510	6,049
Al(IV)	1,780	1,929	1,577	1,806	1,720	1,720	1,905	2,200	1,490	1,908
Al(VI)	0,203	0,486	0,282	0,313	0,232	0,169	0,208	0,286	0,260	
Fe	1,559	1,300	1,665	1,794	1,514	1,472	1,922	1,654	1,973	1,855
Mn	0,031	0,036	0,033	0,044	0,031	0,046	0,038	0,010	0,052	0,034
Mg	2,960	3,050	2,886	2,665	2,986	3,058	2,570	2,768	2,536	2,845
Ti	0,244	0,160	0,135	0,177	0,222	0,252	0,261	0,275	0,178	0,305
Ca	1,570	1,650	1,624	1,535	1,681	1,683	1,818	1,877	1,549	1,699
Na	0,733	0,728	0,614	0,698	0,673	0,639	0,738	0,721	0,878	0,699
K	0,113	0,106	0,115	0,110	0,126	0,114	0,106	0,126	0,131	0,110
total	15,413	15,510	15,349	15,336	15,465	15,433	15,661	15,717	15,557	15,504

(107) à (112) P.L.237 bis andésite à amphibole Saint -Antonin (Chamengearde).

(113) à (115) P.L.260 andési - dacite à amphibole Saint - Antonin  
(Rive gauche du ruisseau de Fontanne)(116) et (117) P.L. 300 cendres volcaniques (Hauts de Vaugrenier, Bretelle  
autoroute A8 sorties Bouches du Loup).

PROVINCE LIGURO - PROVENCALE



## AMPHIBOLES des andésites et roches associées (Provinces méridionales)

	(117)	(118)	(119)	(120)	(121)	(122)	(123)	(124)	(125)
SiO <sub>2</sub>	40,80	41,50	41,70	43,00	48,82	47,06	46,59	46,76	48,08
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,70	15,50	16,50	14,40	6,10	7,63	8,92	7,84	7,44
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,45	10,90	6,88	3,98					
FeO	0,64	2,93	5,74	6,10	11,79	14,50	12,48	13,74	12,02
MnO	0,09	0,11	0,14	0,12	0,90		0,51	0,63	0,62
MgO	12,30	11,41	11,77	15,30	15,75	13,97	15,96	14,09	15,12
TiO <sub>2</sub>	1,82	2,04	2,05	1,54	1,09	1,14	1,26	1,23	1,21
CaO	11,95	11,00	12,00	12,12	11,72	11,87	10,46	11,62	10,54
Na <sub>2</sub> O	2,27	2,44	2,00	2,16	1,45	1,19	1,69	1,70	1,46
K <sub>2</sub> O	0,54	0,56	0,43	0,53	0,55	0,25	0,24	0,57	0,20
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,09	0,08							
H <sub>2</sub> O	0,78	1,50	1,06	1,18					
total:	100,43	99,97	100,27	100,43	98,17	97,60	98,11	98,27	96,69
Base à 24 oxygènes					Base à 23 oxygènes				
Si	6,009	6,128	6,154	6,306	7,070	6,912	6,756	6,850	7,030
Al(IV)	1,991	1,872	1,846	1,694	0,930	1,083	1,244	1,150	0,970
Al(VI)	0,731	0,828	1,014	0,789	0,100	0,220	0,276	0,202	0,310
Fe(3+)	1,485	1,210	0,761	0,440					
Fe(2+)	0,080	0,361	0,699	0,745	1,424	1,772	1,504	1,677	1,460
Mn	0,011	0,013	0,017	0,015	0,109		0,062	0,076	0,076
Mg	2,717	2,533	2,603	3,364	3,421	3,085	3,489	3,090	3,310
Ti	0,203	0,226	0,226	0,167	0,121	0,125	0,137	0,135	0,132
Ca	1,885	1,744	1,895	1,902	1,820	1,868	1,624	1,820	1,650
Na	0,646	0,698	0,571	0,612	0,402	0,338	0,473	0,479	0,410
K	0,101	0,106	0,080	0,098	0,103	0,045	0,044	0,105	0,030
OH	0,382	0,739	0,520	0,576					
total	16,230	16,450	16,380	16,703	15,500	15,350	15,580	15,820	15,370
Base à 13 cations (NEUMANN)									
Si	5,905	6,048	6,007	6,063	6,972	6,797	6,593	6,753	6,861
Al(IV)	2,095	1,952	1,993	1,937	1,024	1,203	1,407	1,247	1,139
Al(VI)	0,579	0,712	1,058	0,451		0,093	0,078	0,085	
Fe(3+)	1,459	1,194	0,743	0,423					
Fe(2+)	0,078	0,356	0,682	0,717	1,403	1,745	1,471	1,655	1,624
Mn	0,010	0,013	0,017	0,014	0,107		0,061	0,076	0,078
Mg	2,670	2,500	2,541	3,235	3,391	3,033	3,387	3,052	3,324
Ti	0,199	0,223	0,212	0,160	0,119	0,123	0,133	0,132	0,129
Ca	1,852	1,722	1,850	1,830	1,800	1,843	1,596	1,804	1,622
Na	0,636	0,690	0,557	0,589	0,403	0,337	0,465	0,476	0,405
K	0,099	0,107	0,079	0,095	0,104	0,046	0,043	0,105	0,036
OH	0,330	0,648	0,449	0,488					
total	15,914	16,160	16,180	16,002	15,320	15,220	15,230	15,370	15,220

## PROVINCE LIGURO PROVENCALE

(117) Amphibole Andésite de Biot (Analyse par absorption atomique) H.GIMENEZ (1976)  
 (118) Amphibole Antibes (absorption atomique H.GIMENEZ 1976), (119) Sa 137 Amphibole  
 Saint Antonin (absorption atomique H.GIMENEZ 1976), Am.4 Amphibole Saint-Antonin (absorption  
 atomique H.GIMENEZ 1976), (120 à 124) Amphibole enclave gabbroïque P.L.341 Estérel,  
 (125) Amphibole enclave gabbroïque P.L.328 Estérel, (126) Amphibole dacitoïde Estérel  
 (Les Cou)

## AMPHIBOLES des andésites et roches associées (Provinces méridionales)

	(126)	(127)	(128)	(129)	(130)	(131)	(132)	(133)
SiO <sub>2</sub>	42,37	45,06	44,64	49,62	47,88	45,31	47,15	46,37
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,44	12,25	12,23	6,65	9,03	10,88	9,57	9,81
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,95	16,65	15,65	10,00	13,09	14,28	12,81	13,84
MnO	0,11	1,10	0,72	0,35	0,46	0,57	0,63	0,54
MgO	11,31	11,76	11,99	16,10	14,18	12,85	13,87	13,42
TiO <sub>2</sub>	0,71	0,86	1,18	1,62	1,56	1,66	1,51	1,79
CaO	10,15	10,46	10,74	11,49	10,89	10,77	10,82	10,74
Na <sub>2</sub> O	2,20	1,72	1,88	1,50	1,78	2,06	1,83	1,99
K <sub>2</sub> O	0,38	0,50	0,50	0,32	0,33	0,42	0,35	0,35
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>								
H <sub>2</sub> O		2,07	2,06	2,08	2,09	2,05	2,07	2,06
total:	98,42	102,42	101,58	99,71	101,29	100,86	100,61	100,97
Base à 23 Oxygènes								
Si	6,296	6,531	6,502	7,130	6,875	6,606	6,819	6,727
Al(IV)	1,704	1,469	1,498	0,870	1,125	1,394	1,181	1,273
Al(VI)	0,643	0,623	0,600	0,256	0,402	0,475	0,451	0,403
Fe	2,098	2,018	1,907	1,201	1,571	1,741	1,550	1,679
Mn	0,114	0,135	0,088	0,041	0,056	0,070	0,076	0,065
Mg	2,520	2,541	2,603	3,448	3,036	2,792	2,989	2,902
Ti	0,076	0,094	0,129	0,175	0,168	0,182	0,163	0,195
Ca	1,609	1,624	1,675	1,769	1,675	1,683	1,677	1,668
Na	0,632	0,484	0,531	0,418	0,496	0,583	0,513	0,559
K	0,067	0,091	0,092	0,057	0,060	0,078	0,064	0,065
total:	15,759	15,610	15,625	15,365	15,464	15,604	15,483	15,341
Base à 13 cations (NEUMANN)								
Si	6,083	6,328	6,339	7,059	6,745	6,474	6,704	6,602
Al(IV)	1,917	1,672	1,661	0,841	1,255	1,526	1,296	1,398
Al(VI)	0,353	0,348	0,380	0,268	0,241	0,300	0,299	0,250
Fe	2,027	1,948	1,852	1,186	1,538	1,700	1,518	1,648
Mn	0,110	0,129	0,086	0,040	0,053	0,068	0,074	0,064
Mg	2,435	2,476	2,553	3,430	2,996	2,752	2,959	2,861
Ti	0,075	0,090	0,126	0,107	0,164	0,180	0,162	0,187
Ca	1,562	1,583	1,638	1,752	1,644	1,641	1,649	1,648
Na	0,612	0,470	0,513	0,410	0,486	0,568	0,512	0,547
K	0,067	0,089	0,090	0,058	0,059	0,076	0,063	0,063
total:	15,230	15,133	15,238	15,251	15,181	15,285	15,236	15,268

(126 à 129) Amphibole dans l'Estérellite des Cou (T3 anal.60), (130) à (133)  
 amphibole dans l'Estérellite du Drammont (T.11 anal. 74)

## PROVINCE LIGURO - PROVENCALE



An 72									
AMPHIBOLES des andésites et roches associées (Provinces méridionales)									
	(134)	(135)	(136)	(137)	(138)	(139)	(140)	(141)	(142)
SiO <sub>2</sub>	48,00	46,09	46,36	46,68	46,76	44,20	45,43	45,05	45,98
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,70	7,53	7,89	7,67	7,84	11,84	10,32	10,06	10,36
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,28								
FeO	9,69	13,61	14,34	14,20	13,74	13,75	13,03	13,76	13,02
MnO	0,32	0,61	0,30	0,66	0,63	0,47	0,42	0,29	0,32
MgO	12,18	13,84	13,90	14,19	14,09	13,06	13,35	12,87	13,20
TiO <sub>2</sub>	1,62	1,75	1,29	1,70	1,23	1,29	1,17	2,51	2,24
CaO	11,82	11,70	11,78	11,53	11,62	9,82	10,67	10,72	11,08
Na <sub>2</sub> O	1,68	1,69	1,84	1,77	1,70	2,01	1,90	2,09	2,13
K <sub>2</sub> O	1,06		0,69	0,73	0,57	0,43	0,57	0,67	1,07
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>									
H <sub>2</sub> O	1,27								
total:	98,71	96,74	98,38	99,61	98,27	96,90	96,93	98,06	99,48
Base à 23 oxygènes									
Si	7,420	6,840	6,810	6,810	6,850	6,520	6,710	6,620	6,755
Al(IV)	0,580	1,160	1,190	1,190	1,150	1,480	1,290	1,380	1,245
Al(VI)	0,819	0,160	0,170	0,120	0,120	0,570	0,580	0,357	0,545
Fe <sub>2</sub>	0,380								
Fe	1,147	1,677	1,753	1,725	1,750	1,690	1,673	1,685	1,587
Mn	0,041	0,075	0,036	0,076	0,080	0,058	0,055	0,035	0,039
Mg	2,827	3,076	3,050	3,104	3,230	2,890	3,081	2,830	2,910
Ti	0,188	0,191	0,142	0,182	0,134	0,142	0,135	0,276	0,123
Ca	1,958	1,859	1,854	1,802	1,900	1,553	1,761	1,687	1,740
Na	0,503	0,479	0,523	0,492	0,500	0,574	0,566	0,594	0,605
K	0,208		0,129	0,140	0,110	0,081	0,112	0,125	0,200
OH	0,654								
total:	16,825	15,517	15,650	15,641	15,824	15,558	15,963	15,890	15,749
Base à 13 cations (NEUMANN)									
Si	7,142	6,742	6,722	6,706	6,753	6,345	6,583	6,530	6,596
Al(IV)	0,858	1,258	1,278	1,294	1,247	1,655	1,417	1,470	1,404
Al(VI)	0,490	0,041	0,068	0,002	0,085	0,344	0,342	0,246	0,144
Fe <sub>2</sub>	0,386								
Fe	1,200	1,659	1,732	1,700	1,655	1,645	1,573	1,661	1,548
Mn	0,040	0,007	0,036	0,080	0,076	0,056	0,052	0,037	0,038
Mg	2,718	3,037	3,023	3,057	3,052	2,812	2,901	2,791	2,839
Ti	0,180	0,191	0,140	0,181	0,132	0,138	0,126	0,291	0,024
Ca	1,883	1,832	1,820	1,790	1,800	1,510	1,656	1,573	1,690
Na	0,483	0,473	0,516	0,516	0,476	0,558	0,533	0,586	0,592
K	0,200		0,127	0,127	0,105	0,078	0,105	0,123	0,196
OH	0,629								
total:	16,180	15,240	15,460	15,450	15,380	15,140	15,280	15,308	15,067

(134) - (138) Amphiboles, Enclave homoéogène P.L. 341 (anal. n°10), (139) - (140) Amphiboles, enclave homoéogène P.L. 328 (anal. n° 8), (141) - (142) Amphiboles enclave homoéogène P.L. 52 (anal. n°13)

PROVINCE LIGURO - PROVENCALE

AMPHIBOLES des andésites et roches associées (Provinces méridionales)								
	(143)	(144)	(145)	(146)	(147)	(148)	(149)	(150)
SiO <sub>2</sub>	46,15	46,60	46,64	48,01	44,76	47,41	39,89	43,14
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8,18	7,11	8,46	7,27	14,09	9,85	16,84	15,13
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,64	13,19	14,32	13,64	6,81	13,57	14,17	6,76
MnO	0,59	0,52	0,44	0,66	0,08	0,56	0,20	0,10
MgO	14,31	14,68	14,35	13,83	16,89	14,84	11,05	16,02
TiO <sub>2</sub>	0,99	0,84	0,99	0,94	0,86	1,25	1,55	1,23
CaO	11,21	10,73	11,35	11,16	11,78	9,94	11,77	12,35
Na <sub>2</sub> O	1,21	1,20	1,58	1,23	2,56	1,79	2,33	2,48
K <sub>2</sub> O	0,35	0,34	0,35	0,45	0,37	0,30	0,52	0,67
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>								
H <sub>2</sub> O					2,11	2,09	2,04	2,10
total:	96,79	95,22	98,28	97,19	100,49	101,61	100,93	100,58
Base à 23 oxygènes								
Si	6,840	7,040	6,900	7,060	6,346	6,788	5,871	6,152
Al(IV)	1,160	0,960	1,100	0,940	1,654	1,212	1,129	1,848
Al(VI)	0,260	0,700	0,373	0,320	0,700	0,450	1,793	0,695
Fe	1,685	1,661	1,666	1,671	0,807	1,624	1,744	0,805
Mn	0,073	0,066	0,054	0,081	0,009	0,068	0,025	0,119
Mg	3,181	3,325	3,187	3,050	3,569	3,166	2,424	3,405
Ti	0,109	0,099	0,109	0,103	0,092	0,134	0,171	0,131
Ca	1,788	1,737	1,800	1,759	1,790	1,524	1,855	1,886
Na	0,346	0,335	0,452	0,353	0,704	0,492	0,665	0,685
K	0,065	0,065	0,060	0,084	0,067	0,054	0,098	0,120
total:	15,499	16,570	15,701	15,420	15,730	15,512	16,775	15,847
Base à 13 cations (NEUMANN)								
Si	6,678	6,803	6,600	6,930	6,250	6,681	5,809	6,129
Al(IV)	1,322	1,197	1,400	1,070	1,750	1,319	1,191	1,871
Al(VI)	0,149	0,024	0,030	0,160	0,565	0,068	1,692	0,652
Fe	1,644	1,604	1,617	1,642	0,792	1,594	1,712	0,801
Mn	0,072	0,064	0,053	0,080	0,001	0,065	0,024	0,011
Mg	3,016	3,215	3,092	2,998	3,539	3,137	2,411	3,409
Ti	0,110	0,091	0,106	0,101	0,139	0,135	0,165	0,278
Ca	1,746	1,680	1,747	1,703	1,767	1,504	1,842	1,884
Na	0,339	0,333	0,439	0,339	0,693	0,491	0,657	0,683
K	0,064	0,031	0,086	0,081	0,061	0,054	0,096	0,121
total:	15,140	15,642	15,670	15,104	15,696	16,672	16,599	15,839

(143) - (146) Amphiboles, enclave homoéogène P.L. 360 (anal. n° 3), (147)-(150) Amphiboles, enclave homoéogène P.L. 340 (anal. n°11)

PROVINCE LIGURO - PROVENCALE



AMPHIBOLES des andésites et roches associées (Provinces méridionales et septentrionales.)									
	(151)	(152)	(153)	(154)	(155)	(156)	(157)	(158)	(159)
SiO <sub>2</sub>	48,46	48,44	47,20	43,43	43,91	42,47	44,09	42,55	41,18
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,79	8,95	9,17	10,24	9,86	10,37	9,24	8,82	9,16
FeO	13,87	14,03	15,39	14,49	14,13	13,97	14,60	13,10	13,03
MnO	0,41	0,67	0,57	0,53	0,91	0,30	0,75	0,53	0,65
MgO	14,16	14,09	13,21	14,28	14,47	14,27	14,58	14,31	14,03
TiO <sub>2</sub>	1,47	0,92	1,34	1,54	1,59	2,00	1,46	1,10	1,43
CaO	11,80	11,16	11,25	11,10	10,86	11,09	10,73	11,26	11,39
Na <sub>2</sub> O	1,75	1,39	1,52	1,86	1,74	2,14	1,67	1,50	1,67
K <sub>2</sub> O	0,64	0,41	0,66	0,63	0,65	0,71	0,51	0,55	0,59
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	2,09	2,10	2,08						
H <sub>2</sub> O									
total:	102,44	102,15	102,44	98,18	98,13	97,38	97,72	93,76	93,16
Base à 23 oxygènes									
Si	6,934	6,921	6,797	6,431	6,491	6,344	6,549	6, 68	6,430
Al(IV)	1,066	1,079	1,203	1,569	1,509	1,656	1,451	1,432	1,570
Al(VI)	0,244	0,428	0,354	0,217	0,208	1,169	0,167	0,172	0,115
Fe	1,660	1,676	1,853	1,794	1,746	1,744	1,814	1,691	1,701
Mn	0,049	0,081	0,069	0,069	0,113	0,037	0,094	0,069	0,086
Mg	3,019	3,001	2,835	3,151	3,189	3,176	3,228	3,293	3,264
Ti	0,158	0,099	0,145	0,171	0,177	0,224	0,163	0,127	0,168
Ca	1,809	1,708	1,736	1,761	1,721	1,774	1,707	1,861	1,906
Na	0,486	0,384	0,425	0,533	0,497	0,619	0,479	0,449	0,505
K	0,116	0,074	0,121	0,118	0,122	0,134	0,096	0,108	0,116
OH	1,000	1,000	1,000						
total:	16,549	16,454	16,547	15,824	15,779	15,891	15,761	15,777	15,866
Base à 13 cations (NEUMANN)									
Si	6,857	6,766	6,661	6,241	6,281	6,173	6,327	6,387	6,280
Al	1,296	1,470	1,522	1,724	1,656	1,769	1,558	1,558	1,638
Fe	1,635	1,632	1,810	1,732	1,681	1,691	1,739	1,639	1,657
Mn	0,049	0,077	0,066	0,063	0,108	0,035	0,089	0,066	0,082
Mg	3,005	2,952	2,796	3,077	3,106	3,112	3,133	3,225	3,213
Ti	0,156	0,096	0,141	0,163	0,171	0,217	0,155	0,126	0,160
Ca	1,800	1,674	1,702	1,700	1,670	1,736	1,655	1,810	1,862
Na	0,482	0,376	0,415	0,517	0,482	0,605	0,465	0,432	0,495
K	0,116	0,114	0,118	0,112	0,120	0,131	0,094	0,083	0,114
total:	15,396	15,155	15,231	15,166	15,275	15,469	15,215	15,326	15,501

(151)-(153) Amphiboles, enclave homoéogène P.L. 341 (anal. n° 10), (154)-(159) Amphiboles andésite Ta 21 (anal. 119)

PROVINCE HELVETICO - SAVOYARDE

Amphiboles des andésites et roches associées (Provinces septentrionales)									
	(160)	(161)	(162)	(163)	(164)	(165)	(166)	(167)	(168)
SiO <sub>2</sub>	41,01	42,18	44,46	39,04	39,13	39,05	40,86	40,53	44,04
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10,19	9,61	9,41	13,57	15,74	15,25	13,94	13,94	9,33
FeO	13,27	12,90	14,32	13,30	14,78	11,27	16,35	14,84	15,10
MnO	0,51	0,52	0,62	0,35	0,42	0,11	0,61	0,27	0,30
MgO	13,60	14,09	14,58	12,82	11,54	14,65	10,89	12,76	13,72
TiO <sub>2</sub>	1,47	1,75	1,66	2,71	1,04	1,41	0,84	1,83	2,34
CaO	10,85	11,12	10,70	11,51	11,10	11,45	10,55	11,46	11,18
Na <sub>2</sub> O	1,61	1,62	1,74	2,49	2,13	2,64	1,81	2,33	2,02
K <sub>2</sub> O	0,59	0,57	0,53	0,64	0,26	0,78	0,58	0,67	0,70
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>									
total:	93,48	94,54	98,03	96,54	96,16	96,64	96,42	98,70	98,77
Base à 23 oxygènes									
Si	6,370	6,459	6,564	5,908	5,932	5,836	6,203	6,007	6,499
Al(IV)	1,630	1,541	1,436	2,092	2,068	2,164	1,797	1,993	1,501
Al(VI)	0,234	0,192	0,200	0,328	0,744	0,521	0,698	0,441	0,122
Fe	1,724	1,652	1,767	1,683	1,873	1,408	2,076	1,839	1,863
Mn	0,066	0,067	0,077	0,044	0,054	0,014	0,078	0,034	0,037
Mg	3,148	3,215	3,207	2,891	2,607	3,262	2,463	2,819	3,018
Ti	0,172	0,201	0,184	0,308	0,119	0,157	0,096	0,203	0,259
Ca	1,806	1,824	1,691	1,866	1,803	1,833	1,716	1,820	1,767
Na	0,484	0,480	0,497	0,730	0,625	0,764	0,532	0,670	0,578
K	0,117	0,112	0,099	0,124	0,051	0,149	0,117	0,125	0,132
total:	15,801	15,766	15,729	15,991	15,879	16,116	15,773	15,963	15,783
Base à 13 cations (NEUMANN)									
Si	6,217	6,298	6,350	5,792	5,758	5,676	6,126	5,854	6,348
Al(IV)	1,711	1,684	1,576	2,208	2,242	2,324	1,874	2,146	1,582
Al(VI)				0,160	0,478	0,282	0,582	0,220	
Fe	1,675	1,603	1,705	1,647	1,810	1,360	2,883	1,785	1,807
Mn	0,063	0,062	0,073	0,044	0,052	0,013	0,075	0,032	0,036
Mg	3,095	3,153	3,119	2,849	2,543	3,191	1,358	2,764	2,966
Ti	0,163	0,197	0,179	0,302	0,115	0,157	0,098	0,199	0,159
Ca	1,779	1,783	1,646	1,839	1,752	1,789	1,693	1,782	1,715
Na	0,477	0,468	0,482	0,714	0,610	0,745	0,522	0,652	0,560
K	0,114	0,108	0,094	0,125	0,005	0,149	0,108	0,121	0,129
total:	15,294	15,356	15,224	15,680	15,365	15,686	15,289	15,555	15,962

(160)-(162) Amphiboles andésite Ta 21 (anal. n° 119), (163) - (166) Amphiboles, tuffisites (Ta3 (anal. n° 123), (167)-(168) Amphiboles (grés Ta 27 type grés du Mont)

PROVINCE HELVETICO - SAVOYARDE



## AMPHIBOLES des andésites et roches associées (Provinces septentrionales)

	(169)	(170)	(171)	(172)	(173)	(174)	(175)	(176)	(177)
SiO <sub>2</sub>	44,33	43,27	43,67	45,82	42,27	43,71	42,99	42,24	42,69
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9,68	10,32	10,30	8,67	13,65	12,31	13,22	14,32	14,17
FeO	12,72	17,69	14,06	15,44	12,30	11,63	14,55	13,69	9,75
MnO	0,73		0,50	0,69	0,17	0,18	0,35	0,19	0,20
MgO	15,47	11,73	13,69	14,25	14,20	14,42	12,56	13,03	15,31
TiO <sub>2</sub>	1,33	1,33	1,98	1,17	2,17	2,27	1,49	1,30	2,39
CaO	10,53	9,17	11,09	9,84	11,49	11,40	11,28	11,51	12,03
Na <sub>2</sub> O	1,51	1,89	1,88	1,57	2,44	2,31	2,58	2,45	2,51
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>									
total:	96,69	95,95	97,93	97,70	99,54	98,86	99,62	99,41	99,82
Base à 23 oxygènes									
Si	6,574	6,583	6,467	6,768	6,119	6,329	6,267	6,148	6,098
Al(IV)	1,426	1,417	1,533	1,232	1,881	1,671	1,733	1,852	1,902
Al(VI)	0,265	0,433	0,265	0,277	0,448	0,430	0,538	0,605	0,476
Fe	1,577	2,251	1,740	1,907	1,488	1,408	1,773	1,666	1,164
Mn	0,091		0,063	0,086	0,020	0,022	0,043	0,023	0,024
Mg	3,420	2,661	3,022	3,136	3,063	3,112	2,729	2,827	3,260
Ti	0,148	0,152	0,220	0,129	0,236	0,247	0,163	0,142	0,256
Ca	1,672	1,494	1,758	1,556	1,782	1,768	1,761	1,794	1,840
Na	0,434	0,558	0,538	0,450	0,624	0,649	0,727	0,692	0,695
K	0,076	0,078	0,141	0,045	0,123	0,112	0,110	0,108	0,135
total:	15,686	15,648	15,752	15,592	15,870	15,750	15,850	15,870	15,860
Base à 13 cations (NEUMANN)									
Si	6,282	6,373	6,291	6,491	5,993	6,110	6,140	6,018	6,017
Al(IV)	1,646	1,627	1,709	1,466	2,007	1,890	1,860	1,982	1,983
Al(VI)		0,141	0,048		0,273	0,131	0,360	0,410	0,380
Fe	1,542	2,144	1,696	1,820	1,454	1,354	1,730	1,640	1,140
Mn	0,008		0,061	0,085	0,020	0,021	0,040	0,020	0,020
Mg	3,371	2,564	2,975	3,028	3,020	3,019	2,690	2,780	3,230
Ti	0,148	0,148	0,217	0,127	0,229	0,234	0,160	0,140	0,130
Ca	1,634	1,438	1,721	1,491	1,752	1,714	1,732	1,771	1,820
Na	0,426	0,575	0,530	0,432	0,675	0,626	0,715	0,681	0,688
K	0,078	0,078	0,139	0,042	0,119	0,109	0,107	0,107	0,135
total:	15,135	15,080	15,387	14,982	15,542	15,289	15,517	15,549	15,543

(169) - (172) Amphiboles (Echantillon de grés Ta 20), (173)-(177) Amphiboles (grés P.L. 712 Le Chaillol - grés du Champsaur)

PROVINCES HELVETICO - SAVOYARDE et CHAMPSAUR

## Amphiboles des andésites et roches associées des Provinces Septentrionales.

	(178)	(179)	(180)	(181)	(182)	(183)	(184)	(185)	(186)
SiO <sub>2</sub>	41,31	42,25	42,10	42,43	41,89	44,43	45,52	44,48	43,24
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,45	12,27	13,41	12,70	14,61	11,53	10,58	10,67	11,98
FeO	12,18	13,40	11,80	11,70	13,61	13,16	12,52	14,09	12,63
MnO	0,15	0,31	0,12	0,19	0,14	0,47	0,38	0,63	0,23
MgO	12,44	12,84	13,95	13,84	11,74	13,29	14,46	12,86	13,80
TiO <sub>2</sub>	2,65	2,91	1,88	2,06	1,89	2,08	2,01	1,96	2,32
CaO	11,32	10,73	11,59	11,53	11,70	11,44	10,99	11,60	11,07
Na <sub>2</sub> O	2,54	2,47	2,64	2,51	2,33	2,18	2,32	2,04	2,40
K <sub>2</sub> O	0,68	0,64	0,79	0,75	0,73	0,90	0,87	0,97	0,61
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>									
total:	97,71	98,03	98,28	97,72	98,63	99,48	99,70	99,31	98,25
Base à 23 oxygènes									
Si	6,091	6,263	6,168	6,145	6,145	6,446	6,553	6,504	6,332
Al(IV)	1,909	1,737	1,832	1,755	1,855	1,554	1,447	1,496	1,668
Al(VI)	0,001	0,396	0,478	0,448	0,671	0,416	0,348	0,342	0,199
Fe	0,593	1,653	1,445	1,439	1,669	1,596	1,507	1,723	1,547
Mn	0,018	0,038	0,014	0,023	0,017	0,057	0,046	0,078	0,028
Mg	2,751	2,823	3,045	3,055	2,566	2,872	3,103	2,803	3,011
Ti	0,292	0,322	0,207	0,228	0,208	0,227	0,217	0,215	0,255
Ca	1,786	1,696	1,819	1,817	1,839	1,778	1,696	1,817	1,726
Na	0,715	0,707	0,751	0,716	0,662	0,614	0,646	0,579	0,682
K	0,127	0,121	0,147	0,147	0,136	0,167	0,160	0,181	0,114
total:	15,290	15,760	15,914	15,850	15,770	15,727	15,723	15,738	15,772
Base à 13 cations (NEUMANN)									
Si	6,020	6,140	6,070	6,150	6,080	6,350	6,440	6,420	6,320
Al(IV)	1,980	1,860	1,930	1,850	1,920	1,650	1,560	1,580	1,680
Al(VI)	0,490	0,230	0,340	0,320	0,570	0,290	0,190	0,230	0,380
Fe	1,480	1,620	1,410	1,410	1,640	1,560	1,471	1,693	1,540
Mn	0,020	0,040	0,010	0,020	0,010	0,050	0,045	0,075	0,020
Mg	2,720	2,790	3,010	3,010	2,550	2,850	3,060	2,780	3,020
Ti	0,290	0,320	0,200	0,220	0,200	0,220	0,210	0,220	0,024
Ca	1,770	1,669	1,800	1,870	1,817	1,760	1,662	1,800	1,733
Na	0,720	0,692	0,739	0,704	0,652	0,606	0,633	0,572	0,678
K	0,126	0,118	0,139	0,139	0,134	0,164	0,156	0,179	0,113
total:	15,616	15,479	15,648	15,693	15,573	15,500	15,427	15,549	15,508

(178) - (179) Amphiboles (grés P.L. 701 Champsaur), (180)-(185) Amphiboles

(grés de Taveyenne du secteur de Thônes), (186) Amphibole dans une tuffisite (P.L. 622 (Thônes))

PROVINCES HELVETICO - SAVOYARDE ET CHAMPSAUR



## PYROXENES des andésites et roches associées des provinces méridionales

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(6a)	(6b)	(6c)
SiO <sub>2</sub>	49,92	51,32	53,44	49,44	49,54	52,42	52,47	54,29	53,86
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,39	1,66	0,52	2,29	1,84	2,05	2,09	0,66	0,82
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,08	1,76		1,37	6,24				
FeO	8,84	9,17	19,35	8,70	5,29	10,48	9,84	21,92	21,52
MnO	0,39	0,39	0,74	0,36	0,40	0,41	0,30	0,66	0,79
MgO	14,62	14,78	23,59	15,90	15,71	15,35	15,43	22,79	22,54
CaO	18,47	18,82	1,68	19,30	18,84	19,42	20,46	2,07	2,08
Na <sub>2</sub> O	0,25	0,37	0,04	0,42	0,36	0,42	0,32	0,09	0,06
K <sub>2</sub> O		0,04		0,02	0,01	0,02	0,01		
TiO <sub>2</sub>	0,53	0,54	0,16	0,48	0,47	0,58	0,47	0,25	0,28
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,06				0,04				
ZnO									
Total:	97,56	98,85	99,22	98,29	98,74	101,16	101,38	102,74	101,96
	CPX	CPX	OPX	CPX	CPX	CPX	CPX	OPX	OPX
Si	1,919	1,945	1,986	1,920	1,905	1,935	1,931	1,970	1,969
Al	0,108	0,074	0,023	0,105	0,080	0,089	0,080	0,028	0,035
Fe <sup>3+</sup>	0,060	0,050		0,040	0,180				
Fe <sup>2+</sup>	0,284	0,289	0,601	0,282	0,170	0,193	0,192	0,666	0,665
Mn	0,012	0,012	0,023	0,012	0,013	0,013	0,090	0,020	0,025
Mg	0,837	0,835	1,290	0,852	0,905	0,844	0,846	1,233	1,228
Ca	0,760	0,764	0,067	0,769	0,776	0,768	0,807	0,081	0,082
Na	0,018	0,027	0,029	0,018	0,026	0,030	0,022	0,006	0,004
K		0,002	0,001			0,001			
Ti	0,015	0,015	0,004	0,015	0,013	0,016	0,013	0,007	0,008
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,018				0,012				
ZnO									
total	4,019	4,016	3,998	4,013	4,065	4,020	4,022	4,011	4,008
Wo	38,89	39,17	33,90	39,50	38,22	39,41	41,06	4,04	4,09
En	42,84	42,79	65,09	43,80	44,50	43,33	43,06	61,67	61,64
Fs	18,27	18,05	31,52	16,57	17,24	17,26	15,88	34,29	34,26

(1) à (6c) Pyroxènes de l'andésite basique P.L. 1 (analyse n° 36)

PROVINCE LIGURO - PROVENCALE

## PYROXENES des andésites et roches associées des provinces méridionales

	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)
SiO <sub>2</sub>	51,70	51,70	53,52	50,23	52,78	53,82	50,80	50,08	52,95
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,22	1,63	0,69	0,66	0,78	0,63	2,33	2,92	1,33
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,80	0,99	0,39	1,76	0,71			0,67	
FeO	11,20	8,02	19,42	19,42	18,91	18,98	10,01	9,08	9,24
MnO	0,32	0,51	0,18	0,21	0,21	0,15	0,46	0,37	0,63
MgO	13,83	15,22	23,06	19,57	22,76	22,95	14,16	14,17	14,47
CaO	18,48	19,56	1,75	3,34	1,73	1,63	17,88	18,60	19,38
Na <sub>2</sub> O	0,43	0,35	0,07	0,11	0,07	0,02	0,31	0,35	0,36
K <sub>2</sub> O					0,04	0,02		0,01	0,01
TiO <sub>2</sub>	0,32	0,51	0,18	0,21	0,21	0,15	0,35	0,44	0,23
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>					0,02				0,05
ZnO								0,06	
Total	98,57	98,47	100,11	96,40	99,09	99,10	96,30	96,75	98,65
	CPX	CPX	OPX	OPX	OPX	OPX	CPX	CPX	CPX
Si	1,917	1,952	1,978	1,964	1,973	1,998	1,952	1,927	1,990
Al	0,054	0,072	0,030	0,030	0,034	0,027	0,105	0,132	0,058
Fe <sup>3+</sup>									
Fe <sup>2+</sup>	0,379	0,280	0,612	0,690	0,621	0,589	0,322	0,314	0,290
Mn	0,019	0,015	0,031	0,036	0,034	0,028	0,015	0,012	0,020
Mg	0,785	0,856	1,270	1,141	1,268	1,269	0,814	0,812	0,810
Ca	0,754	0,791	0,069	0,139	0,069	0,065	0,738	0,766	0,780
Na	0,032	0,025	0,005	0,008	0,005	0,001	0,023	0,026	0,025
K					0,001	0,001			
Ti	0,009	0,014	0,005	0,006	0,006	0,004	0,010	0,012	0,006
Cr					0,005				0,001
Zn								0,010	
total:	4,007	4,009	4,003	4,017	4,005	3,984	3,989	4,005	3,985
Wo	38,92	40,71	3,49	6,97	3,49	3,33	39,07	40,20	41,03
En	40,51	44,06	64,03	56,85	63,91	65,05	43,06	42,65	42,63
Fs	20,57	15,23	32,47	36,18	32,60	31,62	17,87	17,11	16,33

(7) à (12) Pyroxènes, andésite basique P.L. 234 (analyse n° 150)

(13) à (15) Pyroxènes, andésite basique 237 b (analyse n° 53)

PROVINCES LIGURO - PROVENCALE et SUB-ALPINE MERIDIONALE



## PYROXENES des andésites et roches associées des provinces méridionales

	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	(21)	(22)	(23)	(24)
SiO <sub>2</sub>	52,48	51,41	53,38	52,94	52,23	52,36	51,40	51,18	49,37
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,05	2,19	1,16	1,36	2,61	1,22	2,16	1,72	4,25
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>						0,75	2,46	0,85	3,38
FeO	9,40	9,58	10,06	9,99	10,14	10,46	7,48	10,54	7,78
MnO	0,72	0,53	0,55	0,69	0,47	0,94	0,55	0,75	0,46
MgO	14,31	14,21	14,67	15,48	14,92	14,37	14,56	13,71	13,52
CaO	18,94	17,97	18,08	18,81	19,66	20,05	21,18	20,57	20,58
Na <sub>2</sub> O	0,32	0,40	0,67	0,29	0,34	0,26	0,28	0,29	0,33
K <sub>2</sub> O			0,04	0,01			0,02	0,02	
TiO <sub>2</sub>	0,08	0,32	0,23	0,24	0,34	0,27	0,39	0,35	0,88
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,04		0,16						
ZnO			0,08					0,11	0,16
total	97,34	96,60	99,08	99,81	100,73	100,67	100,48	99,97	100,66
	CPX	CPX	CPX	CPX	CPX	CPX	CPX	CPX	CPX
Si	2,000	1,971	1,999	1,971	1,932	1,950	1,920	1,930	1,855
Al	0,047	0,099	0,051	0,059	0,113	0,050	0,090	0,070	0,187
Fe <sup>3+</sup>						0,029	0,017	0,023	0,014
Fe <sup>2+</sup>	0,299	0,307	0,315	0,311	0,313	0,325	0,302	0,356	0,243
Mn	0,023	0,017	0,017	0,021	0,014	0,029	0,017	0,023	0,014
Mg	0,813	0,812	0,819	0,859	0,822	0,805	0,816	0,776	0,762
Ca	0,773	0,738	0,725	0,750	0,779	0,802	0,848	0,832	0,828
Na	0,023	0,029	0,048	0,020	0,020	0,018	0,020	0,020	0,023
K			0,002				0,001	0,001	
Ti	0,002	0,009	0,006	0,006	0,009	0,007	0,010	0,001	0,024
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,001		0,004						
ZnO			0,002					0,003	0,004
total:	3,984	3,984	3,991	4,002	4,013	4,007	4,023	4,008	4,032
Wo	40,50	39,38	38,65	38,64	40,37	41,12	43,13	42,36	43,12
En	42,58	43,33	43,64	44,23	42,61	41,22	41,50	39,59	39,68
Fs	16,92	17,29	17,72	17,14	17,02	17,19	15,36	18,16	17,65

(16) à (20) Pyroxènes andésite basique (P.L. 237 b voir plus haut)

(21) à (24) Pyroxènes de l'andésite P.L. 260 (analyse n° 88)

PROVINCE SUB-ALPINE MERIDIONALE

## PYROXENES des andésites et roches associées des Provinces méridionales

	(25)	(26)	(27)	(28)	(29)	(30)	(31)	(32)	(33)
SiO <sub>2</sub>	52,23	53,66	51,25	48,48	51,31	52,41	50,95	51,06	51,61
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,10	1,00	1,09	3,82	0,39	0,65	1,10	0,82	1,00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,88		5,35	6,68	4,56	6,92	6,77	7,86	5,74
FeO	8,05	10,15	13,81	4,96	18,18	12,45	15,83	13,98	15,82
MnO	0,64	0,84	0,66	0,42	1,00	0,88	0,92	1,02	0,77
MgO	14,21	14,33	25,31	14,85	22,55	26,40	23,53	24,48	24,26
CaO	21,05	20,42	1,69	20,30	1,42	1,61	1,63	1,61	1,72
Na <sub>2</sub> O	0,38	0,30	0,06	0,36		0,04	0,07	0,11	
K <sub>2</sub> O			0,01		0,02	0,03		0,01	
TiO <sub>2</sub>	0,27	0,21	0,32	0,67	0,05	0,16	0,30	0,23	0,16
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		0,03					0,06		
ZnO									
total	100,86	100,97	99,56	100,55	99,47	101,56	101,16	101,14	101,08
	CPX	CPX	OPX	CPX	OPX	OPX	OPX	OPX	OPX
Si	1,953	1,985	1,915	1,845	1,948	1,920	1,906	1,906	1,918
Al	0,048	0,043	0,048	0,171	0,017	0,028	0,048	0,036	0,044
Fe <sup>3+</sup>	0,081		0,149	0,189	0,129	0,189	0,189	0,220	0,159
Fe <sup>2+</sup>	0,251	0,314	0,429	0,126	0,577	0,382	0,495	0,435	0,491
Mn	0,020	0,020	0,021	0,013	0,032	0,027	0,029	0,032	0,024
Mg	0,797	0,790	1,409	0,842	1,276	1,442	1,312	1,362	1,344
Ca	0,843	0,809	0,067	0,827	0,057	0,063	0,065	0,064	0,068
Na	0,027	0,021	0,004	0,026		0,002	0,004	0,007	
K						0,001			
Ti	0,007	0,005	0,009	0,019	0,001	0,004	0,008	0,006	0,004
Cr		0,001					0,002		
Zn									
total	4,027	3,998	4,053	4,062	4,041	4,062	4,061	4,072	4,054
Wo	42,74	41,71	3,26	41,40	2,79	3,00	3,15	3,05	3,28
En	40,41	40,74	67,88	42,15	61,57	68,53	62,77	64,43	64,41
Fs	16,83	17,55	28,86	16,45	35,64	28,48	34,11	32,52	32,31

(25) - (26) Pyroxènes de l'andésite P.L. 260 (voir plus haut)

(27) - (33) Pyroxènes d'une pyroclastite (P.L. 300 analyse 142)

PROVINCES SUB-ALPINE MERIDIONALE et LIGURO-PROVENCALE



## PYROXENES des andésites et roches associées des provinces méridionales

	(34)	(35)	(36)	(37)	(38)	(39)	(40)	(41)	(42)
SiO <sub>2</sub>	48,06	51,34	50,57	48,80	50,23	51,29	50,13	52,45	53,14
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,68	1,26	1,52	3,27	1,23	0,70	1,82	0,84	0,61
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,59	7,66	5,35	6,03	5,22	6,42	5,59	2,35	2,68
FeO	4,65	1,81	13,87	14,04	5,01	15,73	4,65	6,96	5,61
MnO	0,23	0,66	1,02	0,25	0,14	0,12	0,34	0,26	0,20
MgO	15,60	24,99	23,95	14,82	15,14	24,00	14,95	15,26	15,46
CaO	21,09	1,91	2,02	20,51	20,06	1,31	19,91	20,27	21,37
Na <sub>2</sub> O	0,24	0,02	0,05	0,30	0,31	0,08	0,48	0,31	0,35
K <sub>2</sub> O		0,01		0,03			0,16		
TiO <sub>2</sub>	0,41	0,14	0,25	0,51	0,14	0,12	0,34	0,26	0,20
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>			0,02	0,38		0,05	0,06		
ZnO			0,08						
total:	98,78	99,54	99,54	99,11	97,25	100,60	98,78	100,06	100,03
	CPX	OPX	OPX	CPX	CPX	OPX	CPX	CPX	CPX
Si	1,839	1,918	1,903	1,861	1,940	1,920	1,916	1,962	1,974
Al	0,165	0,055	0,067	0,147	0,056	0,031	0,007	0,032	0,045
Fe <sup>3+</sup>	0,160	0,214	0,151	0,173	0,151	0,116	0,183	0,066	0,075
Fe <sup>2+</sup>	0,118	0,368	0,463	0,136	0,148	0,561	0,125	0,217	0,174
MnO	0,007	0,020	0,032	0,008	0,013	0,030	0,001	0,043	0,016
Mg	0,869	1,343	1,343	0,842	0,871	1,339	0,852	0,856	0,853
Ca	0,864	0,076	0,081	0,838	0,830	0,052	0,815	0,818	0,852
Na	0,017	0,014	0,038	0,022	0,023	0,061	0,035	0,022	0,024
K		0,004		0,012			0,078		
Ti	0,011	0,003	0,007	0,014	0,004	0,003	0,009	0,007	0,002
Cr				0,011		0,001	0,001		
Zn			0,002						
total	4,074	4,050	4,056	4,056	4,038	4,062	4,052	4,021	4,090
Wo	42,39	3,69	3,93	41,95	41,21	2,51	40,81	41,60	43,00
En	43,61	67,21	64,85	42,17	43,26	63,80	42,64	43,90	44,40
Fs	14,00	29,11	31,21	15,87	15,54	33,70	16,55	14,50	12,60

(34) à (40) Pyroxènes dans une pyroclastite (P.L. 256 analyse 155)

(41)-(42) Pyroxènes dans l'Estérellite (Ech. T.3 analyse 60)

PROVINCE LIGURO - PROVENCALE

## PYROXENES des andésites et roches associées des provinces méridionales

	(43)	(44)	(45)	(46)	(47)	(48)	(49)	(50)	(51)
SiO <sub>2</sub>	49,10	48,56	49,10	49,76	49,27	51,44	48,25	52,33	53,05
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,06	2,42	2,21	1,85	1,82	2,08	5,75	2,07	0,67
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,14		4,49		3,85	0,70	15,97		0,71
FeO	9,12	11,02	7,48	12,54	7,88	9,23		13,65	20,05
MnO	0,31	0,27	0,50	0,39	0,31	0,37	0,50	3,48	1,50
MgO	13,35	12,93	13,73	13,71	12,96	12,86	14,36	13,54	22,71
CaO	19,41	19,66	19,02	17,88	21,17	21,69	11,46	12,12	1,23
Na <sub>2</sub> O	0,39	0,47	0,40	0,39	0,52	0,48	1,37	0,27	
K <sub>2</sub> O		0,02			0,03	0,08	0,52	0,07	
TiO <sub>2</sub>	0,69	0,81	0,58	0,71	2,37	0,71	0,50	0,07	0,21
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>									
ZnO	0,02						0,13		
total:	96,59	96,15	97,59	97,24	100,18	99,64	99,51	97,59	100,20
	CPX	CPX	CPX	CPX	CPX	CPX	CPX	CPX	OPX
Si	1,910	1,904	1,908	1,920	1,875	1,940	1,852	2,010	1,971
Al	0,090	0,111	0,100	0,080	0,081	0,092	0,259	0,090	0,029
Fe <sup>3+</sup>	0,063		0,137		0,110	0,020	0,460		0,020
Fe <sup>2+</sup>	0,297	0,360	0,243	0,405	0,250	0,290		0,440	0,621
Mn	0,040	0,001	0,018	0,012	0,009	0,017	0,016	0,110	0,047
Mg	0,782	0,760	0,801	0,797	0,735	0,722	0,826	0,780	1,265
Ca	0,812	0,826	0,793	0,742	0,863	0,876	0,470	0,500	0,048
Na	0,007	0,035	0,030	0,003	0,038	0,034	0,101	0,020	
K					0,001	0,003	0,025	0,002	
Ti	0,020	0,019	0,016	0,020	0,067	0,020	0,033	0,002	0,005
Cr									
Zn							0,003		
total	4,021	3,999	4,046	3,979	4,035	4,012	4,347	3,970	4,006
Wo	41,64	42,44	40,17	38,16	43,79	45,62	26,80	29,06	2,45
En	40,10	39,05	40,50	41,00	37,31	37,63	47,01	45,34	64,70
Fs	18,46	18,49	19,25	20,80	18,90	16,76	26,18	25,60	32,80

(43) - (48) Pyroxènes d'une enclave homéogène P.L. 360 (analyse n° 3)

(49) - (50) Pyroxènes " " " P.L. 341 (analyse n° 10)

(51) Orthopyroxène dans la shoshonite de la villa Maure (V.M. anal. 60 b)

PROVINCE LIGURO - PROVENCALE



## PYROXENES des andésites et roches associées des provinces méridionales

	(52)	(53)	(54)	(55)	(56)	(56a)	(56b)	(56c)	(56d)
SiO <sub>2</sub>	52,15	53,23	53,42	49,72	50,47	53,90	51,30	54,67	52,25
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,38	0,71	0,88	2,11	1,56	1,59	3,06	0,84	2,62
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,13	3,98	2,18	3,82	2,43				
FeO	16,57	17,85	18,96	5,32	8,74	18,78	8,91	18,00	9,16
MnO	0,86	1,24	0,99	0,45	0,46	0,80	0,44	0,85	0,37
MgO	23,51	22,89	23,50	14,83	14,67	23,86	14,69	24,18	15,18
CaO	1,89	1,48	1,41	20,98	19,40	1,68	20,08	1,54	19,29
Na <sub>2</sub> O	0,02	0,03		0,35	0,29	0,07	0,37	0,02	0,31
K <sub>2</sub> O						0,01		0,02	
TiO <sub>2</sub>	0,27	0,22	0,11	0,52	0,42	0,20	0,54	0,17	0,41
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>								0,04	
ZnO									
total	99,78	101,63	101,44	98,01	98,45	100,89	99,40	100,33	99,60
	OPX	OPX	OPX	CPX	CPX	OPX	CPX	OPX	CPX
Si	1,952	1,960	1,959	1,902	1,939	1,963	1,918	1,992	1,943
Al	0,060	0,030	0,037	0,094	0,070	0,068	0,134	0,030	0,114
Fe <sup>3+</sup>	0,060	0,110	0,060	0,110	0,070				
Fe <sup>2+</sup>	0,517	0,548	0,580	0,170	0,252	0,572	0,278	0,548	0,280
Mn	0,027	0,038	0,030	0,010	0,014	0,024	0,014	0,026	0,011
Mg	1,320	1,264	1,292	0,851	0,845	1,295	0,819	1,313	0,841
Ca	0,075	0,058	0,055	0,860	0,798	0,065	0,804	0,060	0,768
Na	0,010	0,021		0,025	0,021	0,007	0,025	0,001	0,022
K									
Ti	0,007	0,006	0,003	0,014	0,012	0,005	0,015	0,005	0,011
Cr								0,001	
Zn									
total	4,019	4,037	4,018	4,036	4,021	3,999	4,011	3,985	3,999
Wo	3,80	2,92	2,76	43,19	40,71	3,35	41,99	3,09	40,32
En	66,93	63,83	65,02	42,74	43,02	66,16	42,73	67,41	41,12
Fs	29,25	33,25	32,20	14,06	16,38	30,48	15,27	29,51	15,55

(52) - (56) Pyroxènes de la shoshonite de villa Maure (analyse 60b) in C. Ghristi 1982  
 (56a) à (56d) Pyroxènes de l'andésite basique P.L. 805 (analyse n° 24)

PROVINCE LIGURO - PROVENCALE

## PYROXENES des andésites et roches associées des provinces septentrionales

	(57)	(58)	(59)	(60)	(61)	(62)	(63)	(64)	(65)
SiO <sub>2</sub>	49,52	49,80	50,60	50,54	51,13	50,08	50,15	50,41	51,29
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,18	2,30	2,30	2,27	1,18	2,94	2,24	1,87	0,95
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,35	5,26	5,70	5,33	5,43	5,35	4,55	6,72	4,23
FeO	1,27	3,72	3,20	4,16	4,40	4,68	7,24	2,86	4,16
MnO	0,22	0,44	0,17	0,21	0,61	0,23	0,41	0,40	0,76
MgO	15,99	15,47	16,92	15,47	15,44	14,97	15,30	16,10	15,13
CaO	22,08	20,99	20,13	21,66	21,50	21,13	19,08	20,74	21,77
Na <sub>2</sub> O	0,31	0,30	0,25	0,26	0,34	0,37	0,35	0,42	0,36
K <sub>2</sub> O			0,02			0,03	0,01		
TiO <sub>2</sub>	0,42	0,50	0,40	0,53	0,41	0,57	0,61	0,34	0,09
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,03					0,01	0,07	0,05	0,08
ZnO									0,02
total:	99,36	98,78	99,66	100,43	100,06	100,36	100,00	99,91	98,13
Si	1,864	1,894	1,895	1,894	1,923	1,882	1,901	1,901	1,947
Al	0,141	0,102	0,101	0,100	0,052	0,130	0,100	0,083	0,042
Fe <sup>3+</sup>	0,180	0,150	0,160	0,150	0,150	0,150	0,130	0,190	0,120
Fe <sup>2+</sup>	0,040	0,118	0,100	0,130	0,135	0,146	0,230	0,090	0,132
Mn	0,006	0,013	0,005	0,006	0,019	0,007	0,013	0,012	0,024
Mg	0,897	0,882	0,944	0,864	0,866	0,838	0,864	0,905	0,856
Ca	0,890	0,855	0,807	0,870	0,866	0,850	0,774	0,837	0,885
Na	0,022	0,021	0,017	0,018	0,024	0,026	0,025	0,030	0,026
K						0,001			
Ti	0,011	0,013	0,011	0,015	0,011	0,016	0,017	0,010	0,026
Cr							0,002	0,001	0,002
Zn									
total:	4,063	4,050	4,051	4,049	4,050	4,050	4,042	4,062	4,040
Wo	44,03	42,75	39,90	43,05	42,42	42,68	38,82	41,16	43,86
En	44,35	44,10	46,66	42,77	42,50	42,08	43,31	44,46	42,41
Fs	11,61	13,40	13,44	14,18	14,98	15,25	17,86	14,38	13,73

(57) - (58) Pyroxènes d'andésite , district de Cluses (Ta 21) analyse n° 120

(59) à (63) Pyroxènes dans un grès du district de Cluses (Ta 20)

(64) à (65) Pyroxènes dans un grès du synclinal de Thônes (Le Mont), (Ta 27)

PROVINCE HELVETICO - SAVOYARDE



## PYROXENES des andésites et roches associées des provinces septentrionales

	(66)	(67)	(68)	(69)	(70)	(71)	(72)	(73)	(74)
SiO <sub>2</sub>	50,82	49,13	49,61	48,31	52,80	53,13	52,41	51,81	52,84
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,68	2,47	3,25	4,10	1,53	1,41	1,86	3,31	1,26
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,37	6,66	4,94	7,72	2,89	1,08	2,47	2,18	0,35
Fe O	4,26	5,18	2,85	2,43	7,49	9,07	8,12	5,58	10,29
Mn O	0,47	0,18	0,33	0,34	0,61	0,74	0,41	0,23	0,58
MgO	15,91	16,24	16,07	15,07	15,84	14,75	15,16	14,92	13,82
CaO	20,40	19,33	20,93	20,68	19,66	19,96	20,08	22,31	20,42
Na <sub>2</sub> O	0,37	0,37	0,24	0,40	0,38	0,44	0,35	0,31	0,30
K <sub>2</sub> O			0,02						0,05
TiO <sub>2</sub>	0,34	0,68	0,49	0,75	0,32	0,33	0,47	0,54	0,31
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		0,13		0,06					0,07
ZnO		0,08							
total	100,52	100,46	98,72	99,86	101,42	101,52	101,35	101,30	100,29
Si	1,908	1,874	1,874	1,833	1,946	1,967	1,943	1,904	1,972
Al	0,074	0,111	0,144	0,183	0,066	0,061	0,081	0,143	0,055
Fe <sup>3+</sup>	0,180	0,189	0,140	0,220	0,080	0,030	0,050	0,060	0,010
Fe <sup>2+</sup>	0,134	0,164	0,089	0,070	0,230	0,280	0,250	0,170	0,320
Mn	0,014	0,006	0,010	0,010	0,019	0,023	0,012	0,007	0,018
Mg	0,890	0,923	0,905	0,858	0,870	0,813	0,838	0,810	0,768
Ca	0,820	0,790	0,847	0,840	0,776	0,791	0,797	0,878	0,816
Na	0,026	0,027	0,017	0,028	0,027	0,031	0,025	0,022	0,021
K									
Ti	0,009	0,019	0,013	0,021	0,008	0,009	0,013	0,014	0,008
Cr		0,039		0,017					0,021
Zn		0,023							
total	4,058	4,061	4,047	4,072	4,025	4,008	4,014	4,019	4,002
Wo	40,22	39,07	42,45	42,06	39,29	40,83	40,90	45,44	42,10
En	43,65	45,66	45,35	42,90	44,04	41,97	42,97	42,26	39,63
Fs	16,13	15,28	12,21	14,90	16,67	17,20	16,13	12,30	18,27

(66) Pyroxène dans un grès (Ta 27) , (67) à (69) Pyroxènes dans une tuffisite (Ta 3 analyse 123)

(70) à (74) Pyroxènes dans une andésite du synclinal de Thônes (P.L. 543)

PROVINCE HELVETICO - SAVOYARDE

## PYROXENES des andésites et roches associées des provinces septentrionales

	(75)	(76)	(77)	(78)	(79)	(80)	(81)	(82)	(83)
SiO <sub>2</sub>	50,74	52,69	52,61	52,81	54,18	52,62	52,43	51,28	52,10
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,07	2,07	1,97	1,28	0,87	2,08	1,85	3,98	2,79
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,43	1,07		0,35	1,45	2,18	2,16	1,08	0,72
Fe O	7,73	8,08	10,38	10,29	8,81	8,30	7,78	6,48	8,75
Mn O	0,25	0,79	0,32	0,62	0,85	0,41	0,59	0,14	0,26
Mg O	13,34	13,84	14,75	14,17	14,65	15,99	15,22	14,02	14,38
Ca O	21,82	21,13	19,26	20,12	21,19	19,21	20,09	22,32	21,00
Na <sub>2</sub> O	0,32	0,47	0,35	0,36	0,39	0,30	0,37	0,27	0,23
K <sub>2</sub> O		0,02					0,06	0,01	0,03
TiO <sub>2</sub>	0,74	0,22	0,66	0,41	0,10	0,52	0,56	0,55	0,50
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,05					0,03			
ZnO									
total:	100,49	100,39	100,30	100,41	102,49	101,55	101,10	100,13	100,75
Si	1,888	1,958	1,953	1,969	1,980	1,932	1,939	1,898	1,927
Al	0,178	0,090	0,086	0,056	0,037	0,090	0,080	0,173	0,121
Fe <sup>3+</sup>	0,040	0,030		0,010	0,040	0,060	0,060	0,030	0,020
Fe <sup>2+</sup>	0,240	0,250	0,322	0,320	0,269	0,254	0,240	0,200	0,270
Mn	0,007	0,025	0,010	0,019	0,026	0,012	0,018	0,004	0,008
Mg	0,740	0,766	0,816	0,787	0,798	0,875	0,838	0,774	0,793
Ca	0,869	0,841	0,766	0,803	0,829	0,756	0,796	0,885	0,832
Na	0,022	0,033	0,024	0,026	0,027	0,021	0,026	0,019	0,016
K		0,001					0,002		0,001
Ti	0,020	0,006	0,018	0,015	0,002	0,014	0,015	0,015	0,013
Cr	0,015								
Zn									
total:	4,011	4,007	3,997	4,003	4,011	4,017	4,019	4,008	4,006
Wo	45,80	43,88	40,02	41,43	42,25	38,60	40,73	46,58	43,26
En	38,96	39,99	42,62	40,61	40,65	44,69	42,92	40,70	41,23
Fs	15,24	16,13	17,36	17,97	17,10	16,71	16,34	12,70	15,52

(75) - (77) Pyroxènes (andésite P.L. 543 Thônes), (78) Pyroxène (tuffisite P.L. 622 synclinal de Thônes) , (79) à (83) Pyroxènes (grés P.L. 712 Champsaur)

PROVINCES HELVETICO - SAVOYARDE et CHAMPSAUR



## PYROXENES des andésites et roches associées des provinces septentrionales

	(84)	(85)	(86)	(87)	(88)	(89)	(90)	(91)	(92)
SiO <sub>2</sub>	52,96	52,04	51,21	51,60	52,68	52,81	52,45	52,85	53,19
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,29	3,06	3,77	3,90	1,53	1,51	2,80	1,91	1,40
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		2,18	2,15	0,72	1,08				
Fe O	9,20	6,83	7,11	8,42	8,74	8,94	7,71	10,05	9,73
Mn O	0,61	0,22	0,29	0,39	0,47	0,51	0,27	0,59	0,60
Mg O	14,55	15,03	14,67	14,39	15,96	14,77	14,27	14,47	14,36
Ca O	20,10	21,27	20,44	20,26	19,05	20,29	22,01	19,49	19,96
Na <sub>2</sub> O	0,35	0,32	0,43	0,41	0,30	0,34	0,23	0,39	0,28
K <sub>2</sub> O						0,03	0,02		0,02
TiO <sub>2</sub>	0,32	0,61	0,65	0,70	0,51	0,39	0,50	0,48	0,32
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>			0,05	0,06	0,07		0,01	0,04	0,02
Zn O									
total:	99,38	101,56	100,76	100,85	100,40	99,58	99,96	100,26	99,88
Si	1,980	1,910	1,894	1,902	1,951	1,969	1,934	1,962	1,981
Al	0,056	0,138	0,164	0,169	0,067	0,066	0,122	0,083	0,061
Fe <sup>3+</sup>	0,060	0,060	0,020	0,030					
Fe <sup>2+</sup>	0,287	0,209	0,220	0,260	0,270	0,278	0,239	0,312	0,303
Mn	0,019	0,006	0,009	0,012	0,014	0,016	0,008	0,018	0,018
Mg	0,811	0,822	0,808	0,790	0,881	0,820	0,788	0,800	0,797
Ca	0,805	0,836	0,810	0,800	0,756	0,810	0,874	0,775	0,796
Na	0,025	0,022	0,030	0,029	0,021	0,024	0,016	0,028	0,020
K						0,014	0,011		0,010
Ti	0,009	0,016	0,018	0,019	0,014	0,010	0,013	0,013	0,009
Cr			0,014	0,017	0,021			0,010	
Zn									
total:	3,995	4,018	4,019	4,006	4,009	3,999	3,999	3,995	3,989
Wo	41,86	43,22	42,42	42,49	38,71	42,08	45,76	40,66	41,58
En	42,17	42,49	42,35	41,97	45,10	42,61	41,28	42,00	41,61
Fs	15,96	14,29	15,23	15,54	16,19	15,30	12,96	17,34	16,81

(84) Pyroxène (grés du Champsaur P.L. 712) , (85) à (92) Pyroxènes (grés du Champsaur P.L. 708)

PROVINCE DU CHAMPSAUR

## PYROXENES des andésites et roches associées des provinces septentrionales

	(93)	(94)	(95)	(96)	(97)	(98)	(99)	(100)	(101)	(102)
SiO <sub>2</sub>	52,98	52,81	51,15	51,05	51,76	52,81	53,13	52,15	52,50	50,86
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,53	1,69	3,44	3,79	2,47	1,57	1,66	1,42	2,20	3,88
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,35	1,44	2,15	0,71	2,87	1,08		1,07	9,43	9,10
Fe O	9,26	8,44	7,76	8,68	8,26	9,08	9,32	8,13		
Mn O	0,48	0,45	0,55	0,35	0,33	0,60	0,53	0,41	0,45	0,26
Mg O	14,81	15,26	14,74	14,59	15,04	14,53	14,59	13,96	15,09	13,99
Ca O	20,72	19,91	19,88	19,42	20,02	20,46	20,46	21,26	19,88	21,01
Na <sub>2</sub> O	0,28	0,32	0,37	0,32	0,42	0,32	0,31	0,30	0,25	0,38
K <sub>2</sub> O		0,01	0,03		0,01		0,01			
TiO <sub>2</sub>	0,30	0,39	0,68	0,54	0,63	0,44	0,29	0,41	0,47	0,62
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,06		0,06		0,02				0,10	
ZnO										
total:	100,42	100,73	100,81	99,51	101,18	100,97	100,06	100,23	100,38	100,10
Si	1,963	1,953	1,897	1,906	1,916	1,954	1,974	1,940	1,944	1,894
Al	0,069	0,074	0,150	0,166	0,107	0,072	0,062	0,117	0,096	0,170
Fe <sup>3+</sup>	0,010	0,040	0,060	0,020	0,080	0,030		0,030		
Fe <sup>2+</sup>	0,285	0,260	0,240	0,270	0,230	0,280	0,289	0,252		
Mn	0,015	0,014	0,017	0,011	0,010	0,018	0,016	0,012	0,014	0,083
Mg	0,818	0,841	0,815	0,811	0,830	0,801	0,808	0,774	0,832	0,776
Ca	0,822	0,788	0,790	0,779	0,794	0,811	0,814	0,847	0,788	0,838
Na	0,019	0,023	0,026	0,023	0,030	0,022	0,022	0,021	0,027	0,020
K			0,001		0,060					
Ti	0,008	0,010	0,019	0,015	0,017	0,012	0,008	0,011	0,013	0,017
Cr	0,001		0,001							
Zn										
total:	4,003	4,010	4,020	4,006	4,026	4,008	3,997	4,002	4,002	4,016
Wo	42,35	40,46	41,08	41,15	40,65	41,68	42,22	44,22	40,92	43,97
En	42,10	43,15	42,38	42,84	42,49	41,18	41,90	40,39	43,20	40,72
Fs	15,55	16,39	16,54	16,01	16,87	17,14	15,88	15,39	15,88	15,31

(93) à (95) Pyroxènes (grés du Champsaur P.L. 708) , (96) - (97) Pyroxènes (grés du Champsaur P.L. 709) (98) - (102) Pyroxènes (grés du Champsaur P.L. 705)

PROVINCE DU CHAMPSAUR



## PYROXENES des andésites et roches associées des provinces septentrionales

	(103)	(104)	(105)	(106)
SiO <sub>2</sub>	52,48	52,60	52,96	52,82
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,77	1,82	1,83	1,96
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>				
Fe O	9,28	9,69	10,35	10,42
Mn O	0,38	0,60	0,41	0,64
Mg O	14,92	14,53	14,62	14,18
Ca O	20,19	20,33	19,70	20,05
Na <sub>2</sub> O	0,28	0,35	0,36	0,54
K <sub>2</sub> O	0,03	0,01		
TiO <sub>2</sub>	0,46	0,48	0,48	0,42
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		0,05		
Zn O				
total	99,79	100,45	100,70	101,04
Si	1,955	1,953	1,960	1,954
Al	0,078	0,079	0,080	0,086
Fe <sup>3+</sup>				
Fe <sup>2+</sup>				
Mn	0,012	0,019	0,013	0,020
Mg	0,828	0,804	0,807	0,782
Ca	0,806	0,809	0,781	0,795
Na	0,020	0,025	0,026	0,038
K	0,001			
Ti	0,013	0,013	0,013	0,012
Cr		0,001		
Zn				
total	4,003	4,005	3,999	4,010
Wo	41,65	41,86	40,67	41,41
En	42,80	41,60	41,99	40,74
Fs	15,56	16,53	17,34	17,84

(103) - (104) Pyroxènes (grés du Champsaur P.L. 705)

(105) - (106) Pyroxènes (grés du Champsaur P.L. 708)

PROVINCE DU CHAMPSAUR

## OLIVINES des andésites basiques des provinces méridionales

Province Liguro - Provençale.

	(1)	(2)	(3)
SiO <sub>2</sub>	37,11	38,03	37,73
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	0,05	-
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>			
FeO	30,77	25,67	30,92
MgO	31,37	35,51	31,36
MnO	0,74	0,44	0,74
TiO <sub>2</sub>	0,01	-	-
CaO	0,17	0,16	0,24
Na <sub>2</sub> O	-	0,05	0,06
K <sub>2</sub> O	0,02	-	0,03
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,10	0,10	0,02
ZnO	-	-	0,10
Total :	100,29	100,02	100,79
Si	1,0052	1,0057	1,0067
Al	-	0,0016	0,0001
Fe	0,6970	0,5667	0,6972
Mg	1,2664	1,3996	1,2606
Mn	0,0170	0,0098	0,0169
Ti	0,0003	-	-
Ca	0,0048	0,0045	0,0068
Na	-	0,0025	0,0029
K	0,0008	-	0,0011
Cr	0,0021	0,0021	0,0005
Zn	-	-	0,0019
S.cat.	2,9936	2,9935	2,9947

Analyses (1),(2),(3) ,Olivines andésite basique P.L. 1 (anal. roche totale N° 36)



## MINÉRAUX OPAQUES des andésites et roches associées des Provinces méridionales

Province Liguro - Provençale et sub - alpine méridionale

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
Fe2O3	40,84	40,00	4,62	3,85	39,04	-	-	6,87	37,90	34,12
FeO	38,00	36,41	83,91	85,18	37,97	80,13	77,10	67,26	12,11	22,10
MnO	0,54	0,36	0,57	0,55	0,45	0,57	1,06	1,84	1,56	1,79
TiO2	14,71	8,16	7,90	7,74	13,90	7,90	13,99	12,19	47,71	42,29
Al2O3	2,25	6,72	2,59	3,67	2,73	2,59	1,72	3,59	3,012	0,09
MgO	2,10	1,74	2,09	2,90	2,54	2,09	1,18	2,68	2,03	1,21
Na2O	0,07	0,04	-	-	-	0,02	-	1,27	0,07	0,04
K2O	0,01	-	-	0,01	-	-	0,01	-	0,04	-
SiO2	0,26	0,11	0,15	0,10	0,22	0,15	0,19	1,04	0,02	0,04
CaO	0,04	0,03	0,02	0,05	0,06	0,02	0,09	0,13	-	-
Cr2O3	0,03	0,06	0,05	0,04	-	-	-	0,04	-	-
ZnO	-	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-
total:	98,82	93,73	101,91	104,16	96,97	93,51	95,37	95,89	101,46	101,69
	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)				
Fe2O3	29,60	30,78	31,50	6,94	30,10	30,40	(1),(2) Opaque andésite			
FeO	61,45	64,09	63,35	82,28	62,89	65,55	basique P.L. 1 (anal.n°36)			
MnO	0,83	0,17	0,29	0,68	0,03	0,09	(3)à(6) Opaques andésite			
TiO2	1,34	1,06	2,04	7,38	1,63	0,38	basique P.L. 237 bis			
Al2O3	0,67	0,66	0,95	2,44	1,38	1,67	(anal. n°53)			
MgO	0,07	0,15	0,58	0,40	0,20	0,02	(7) Opaque d'une andésite			
Na2O	-	-	-	0,02	-	1,27	P.L. 260 (anal.n° 88)			
K2O	-	-	-	0,01	0,04	0,02	(8) Opaque d'une andésite			
SiO2	0,28	0,49	0,25	0,80	0,15	2,44	basique P.L. 805,			
CaO	1,10	0,13	-	0,08	0,02	0,15	(anal. n°24)			
Cr2O3	0,07	0,03	-	-	0,02	0,15	(9),(10) Opaques d'une			
ZnO	-	-	-	-	-	-	enclave homoéogène P.L. 341			
total:	95,42	97,56	98,97	101,03	99,00	98,42	(anal. n°10)			

(11)à(13) Opaques dans une Estérellite (anal. n° 69 Ech.T.10 )

(14) Opaque dans une enclave homoéogène Trondjhémétique (P.L. 350 anal.16)

(15),(16) Opaque enclave homoéogène (P.L. 340 n° 11 )  
dioritique

## MINÉRAUX OPAQUES des andésites et roches associées des provinces septentrionales

Province Helvético - Savoyarde et Champsaur

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
Fe2O3	18,14	32,21	34,18	11,38	5,14	19,84	19,51	26,22	25,25	25,24
FeO	42,39	52,56	45,81	71,46	84,80	44,63	43,59	58,83	56,75	56,95
MnO	0,88	0,38	0,82	0,95	0,77	0,19	0,03	-	-	-
TiO2	-	4,43	7,71	15,85	6,74	0,02	0,01	-	-	0,02
Al2O3	0,03	1,68	3,35	0,29	2,16	-	-	-	0,01	1,03
MgO	0,04	0,13	1,03	1,19	0,93	0,06	0,05	0,15	0,16	0,64
Na2O	0,17	0,02	0,06	-	-	0,03	0,11	-	-	0,03
K2O	-	-	0,01	-	0,03	0,04	0,01	0,03	0,02	0,03
SiO2	0,56	1,77	0,42	0,07	0,16	0,10	0,07	2,94	3,86	4,64
CaO	0,03	0,58	0,50	0,03	0,12	0,07	0,06	0,07	0,13	0,13
Cr2O3	-	0,08	0,03	0,04	-	0,06	-	0,02	-	-
Total:	62,23	93,86	93,92	101,26	100,85	65,03	63,72	88,35	86,26	88,69

(1) à (4) Opaques dans une andésite du synclinal de Thônes

(P.L. 543 anal. voir n°111)

L'analyse n°1 correspond à un minéral pyriteux

(5) Opaque dans un grès du Champsaur (P.L. 708)

(6),(7) Opaques pyriteux dans une andésite du gisement de l'Arbaron (Ta.21b)

(anal. n° 113)

(8) à (10) Opaques dans un grès riche en éléments volcaniques du gisement de l'Arbaron.



BIOTITES et GRENATS des dacitoïdes et roches associées de la Province

Liguro - Provençale

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
SiO <sub>2</sub>	35,89	36,69	32,96	35,63	41,31	35,81	37,55	37,52	35,96	35,65	35,80
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,59	15,86	16,52	15,91	26,46	26,98	17,96	15,88	22,26	22,44	22,44
FeO	16,49	17,14	18,92	16,80	12,19	16,24	12,25	11,97	23,59	23,80	23,38
MgO	14,74	14,67	15,27	14,81	7,83	12,05	15,85	15,88	4,29	4,89	4,81
CaO								0,08	4,73	3,20	3,96
Na <sub>2</sub> O	0,38	0,43	0,18	0,41		0,02	0,76	0,82	0,07	0,05	0,11
K <sub>2</sub> O	8,09	8,20	4,90	8,67	4,56	3,74	9,12	8,87			
MnO	0,36	0,29	0,29	0,24	0,29	0,27	0,30	0,25	9,26	10,13	9,35
TiO <sub>2</sub>	3,03	2,99	2,67	2,93	0,13	0,71	3,11	3,28	0,19	0,11	0,15
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,10	0,07	-	0,08	0,03	0,06	0,01	-	-	-	0,02
ZnO		0,02	0,05								
OH	3,37	4,03	12,09	12,56							
total:	98,63	100,41	103,85	98,04	92,79	95,87	96,93	96,37	100,35	100,26	100,01

Composition des grenats :		
(9)	(10)	(11)
Al 50,6	50,8	50,3
Py 16,43	18,61	18,48
Sp 20,14	21,91	20,39
Gro 12,47	8,46	10,43
Ad 0,32	0,18	0,26
Uv -	-	0,05

(1),(2) Biotites enclave homoéogène P.L 275  
(anal.n° 15)

(3),(4) Biotites Estérellite (anal.n°97)

(5),(6) " " chloritisées

(7),(8) Biotites enclave homoéogène P.L. 350  
(anal. n° 16)

(9) à (11) Grenats de l'enclave homoéogène P.L. 350 (anal. n° 16)

T A B L E D E S -----

----- F I G U R E S

et Tableaux

Fig. 1 : Carte de localisation des principales manifestations volcaniques paléogènes péri -alpines.

Fig. 2 : Les provinces volcaniques paléogènes des Alpes Occidentales

Fig. 3 : Le district de Forcalquier.

Fig. 4 : Le district de Cap d'Ail

Fig. 5 : Le district de la région de Nice.

Fig. 6 : Le district de St. Vallier et la Province sub-alpine méridionale

Fig. 7 : Le district de l'Estérel Central.

Fig. 8 : La Province du Champsaur.

Fig. 9 : Localisation géographique des affleurements volcaniques de la Province Helvético - Savoyarde.

Fig. 10 : Datations absolues obtenues par la méthode Potassium - Argon sur l'Estérellite (carte)

Tableau 1 : Les âges du volcanisme Ligure

Fig. 11 : Localisation des affleurements volcaniques du Cap d'Ail.

Fig. 12 : Coupe géologique des niveaux pyroclastiques de la plage des douaniers (Cap d'Ail.

Fig. 13 : Datations absolues des laves de la Province Liguro - Provençale. (carte)

Fig. 14 ; Coupe des niveaux pyroclastiques du secteur Mardaric - TNrme Blanc.

Fig. 15 : Coupe géologique de la bordure orientale du fossé de la Vanade.

Fig. 15 : Coupe des formations pyroclastiques du talus de "Texas Instruments".

Fig. 17 : Détection par un profil de résistivité à -10m d'un dyke d'andésite démantelé par l'érosion en surface.

Fig. 18 : Carte géologique du Cap d'Antibes.

Fig. 19 : Coupe des formations volcaniques dans le secteur de Biot.

Fig. 20 : Reconstitution hypothétique d'une phase d'éruption du volcan de Biot.



- Fig. 21 : Affleurements de pyroclastites andésitiques (Massif de Biot et ses dépendances) d'après feuille Grasse - Cannes (Ed.BRGM).  
 21b: Structure de la marge continentale au large de l'Estérel, et de la région niçoise.
- Fig. 22 : Coupe géologique du fossé de la Vanade.
- Fig. 23 : Coupe géologique du fossé de La Noria.
- Fig. 24 a : Fossé Nord - Sud à remplissage volcano - sédimentaire syn-tectonique.  
 24b : Chenal Nord - Sud comblé par du matériel volcano - sédimentaire
- Fig. 25 : Relations entre la formation des fossés et le volcanisme.
- Fig. 26 a : Carte géologique du secteur de la Villa Maure.
- Fig. 26 b : Coupes géologiques dans le secteur de la Villa Maure
- Fig. 27 : Mode de mise en place de l'Estérellite
- Fig. 28 : Carte structurale de mise en place de l'Estérellite
- Fig. 29 : Le métamorphisme de contact de l'Estérellite.
- Fig. 30 : Stratigraphie des formations détritiques paléogènes du synclinal de Saint - Antonin.
- Fig. 30 a : Coupe géologique des Baylons (AB)
- Fig. 30 b : Coupe géologique des Petits Brins (CD)
- Fig. 30 c : Coupe des Miolans ( EF)
- Fig. 30 d : Coupe géologique de l'Adrech (GH)
- Fig. 31 : Divers stades de l'évolution du Bassin de Saint - Antonin dans l'hypothèse d'un plissement synsédimentaire.
- Fig. 32 : Coupe géologique des pyroclastites andésitiques sur la rive gauche du ruisseau de Fontanne.
- Fig. 33 : Reconstitution hypothétique de l'activité volcanique dans le bassin paléogène de Saint - Antonin.
- Fig. 34 : Carte géologique du synclinal de Barrême.
- Fig. 35 : Coupe géologique du synclinal de Barrême dans le secteur de la Poste de Clumanc.
- Fig. 36 : Coupe géologique du synclinal de Barrême dans le secteur de Laubre.
- Fig. 37 : Coupe montrant la discordance des conglomérats type Poste de Clumanc sur une structure plissée antérieure.

- Fig. 38 : Position structurale du synclinal de Majastre dans les chaînons sub-alpins de la région de Castellane.
- Fig. 39 : Coupe géologique des formations gréseuses du Champsaur au Sud du Massif du Vieux Chaillol.
- Fig. 40 : Contexte géologique des manifestations andésitiques de la région de Cluses.
- Fig. 41 : Coupes géologiques dans le secteur de l'Arbaron et des Grands Vans.
- Fig. 42 : Reconstitutions paléogéographiques de la partie orientale du Massif de Platé au Tertiaire.
- Fig. 43 : Coupes schématiques de la tectogenèse tertiaire.
- Fig. 44 : Esquisse géologique du synclinal de Thônes.
- Fig. 45 : Localisation des coupes géologiques dans la synclinal de Thônes.
- Fig. 46 : Log stratigraphique des formations détritiques et volcanodétritiques du synclinal de Thônes.
- Fig. 47 : Les affleurements volcaniques dans le secteur du Mont.
- Fig. 48 : Coupe des Frasses (AB)
- Fig. 49 : Les affleurements volcaniques dans les secteurs du Crêt du Loup et du Crêt du Merle.
- Fig. 50 : Coupe géologique du Crêt du Loup (CD)
- Fig. 51 : Les affleurements volcaniques dans le secteur du Merdassier La Croix - Fry.
- Fig. 52 : Coupes géologiques dans le secteur Merdassier La Croix Fry (EF,GH)/
- Fig. 53 : Coupe géologique du secteur du Col de l'Oulette (KL)
- Fig. 54 : Coupe géologique du versant Est de la Tournette (IJ)
- Fig. 55 : Diagramme montrant les différents stades de l'évolution d'un îlot volcanique océanique.
- Fig. 56 : Entrée d'un épanchement pyroclastique dans l'eau de mer.
- Fig. 57 : Le modèle phréatomagmatique de G. Camus (1975) modifié par G. Vitally (1980)
- Fig. 58 : Section schématique à travers des volcans de type Maar - Diatrema ou Tuf - ring diatrema.
- Fig. 59 : Carte géologique du volcan de Thônes.



- Fig. 60: Reconstitution hypothétique de l'activité volcanique dans le bassin de Thônes.
- Fig. 61 : Contexte tectogénétique du volcanisme péri-alpin occidental paléogène des chaînes sub-alpines méridionales.
- Fig. 62 : Le domaine Paléogène marin des Alpes Occidentales.
- Tableau\_2 : Correlations entre le synclinal de Thônes et le synclinal de Saint - Antonin.
- Fig. 63 : Disposition des plaques à l'Yprésien (d'après J.F.Dewey)
- Fig. 64 : Modèle de A. Amstutz (1978) pour les nappes préalpines et helvétiques.
- Fig. 65 : Les Alpes et la théorie des plaques (M. Mattauer 1978).
- Fig. 66 : Profondeur de la discontinuité de Mohorovicik dans les Alpes occidentales.
- Fig. 67 : Profondeur du socle ante triasique dans le Sud-Est de la France.
- Fig. 68 : Coupes transverses à l'Arc alpin montrant la topographie supposée de la discontinuité de Mohorovicik.
- Fig. 69 : Schéma interprétatif de l'évolution tectonique des zones où s'est manifesté le volcanisme andésitique paléogène péri-alpin.
- Fig. 70 : Le volcanisme Sarde.
- Fig. 71 : Situation géologique des formations volcaniques de Capu Biancu (Corse).
- Fig. 72 : Les manifestations volcaniques de la Province de Biella.
- Fig. 73 : Alternance de cendres grossières et de lapilli - cristallins (Plaque mince au microscope).
- Fig. 74 : Pyroclastite andésitique.
- Fig. 75 : Pyroclastite andésitique (N°2)
- Fig. 76 : Grauwacke andésitique)
- Fig. 77 : Andésite basique à olivine et deux pyroxènes
- Tableau\_3 : Paléotempératures sur bois carbonisés (méthode R.C. Maury)
- Fig. 78 : Andésite semi - vacuolée à deux pyroxènes

- Fig. 79 : Andésite basique à deux pyroxènes
- Tableau\_4 : Compositions modales des principales variétés pétrographiques des roches en relation avec le magmatisme calco - alcalin paléogène (Province Liguro - Provençale et sub-alpine méridionale).
- Fig. 80 : Microdiorite quartzique (Estérellite) à Clinopyroxène et amphibole.
- Fig. 81 : Microdiorite quartzique à plagioclase et hornblende
- Fig. 82 : Microdiorite quartzique à biotite
- Fig. 83 : (a) Enclave homoéogène gabbroïque à deux pyroxènes et hornblende  
(b) Enclave homoéogène à clinopyroxène et hornblende
- Fig. 84 : Enclave homoéogène de gabbro - diorite à hornblende
- Fig. 85 : Enclave homoéogène à amphiboles aciculaires (cumulat)
- Fig. 86 : Enclave de Trondjémite à grenats
- Fig. 87 : Les minéralisations cuprifères du secteur de Biot - Villeneuve Loubet.
- Fig. 88 : Pyroclastite andésitique (St. Antonin)
- Fig. 89 : Lahar (St. Antonin)
- Fig. 90 : Andésite à Clinopyroxène et amphibole, (St. Antonin)
- Fig. 91 : Andésite à Clinopyroxène et amphibole (St. Antonin)
- Fig. 92 (a) : Grés monogénique à éléments volcaniques (Barrême)  
(b) : Andésite rétro-morphosée à clinopyroxène (Barrême)  
(c) : Andésite rétro-morphosée à clinopyroxène et amphibole (Barrême)
- Fig. 93 : Grés riche en éléments volcaniques (Vieux Chaillol)
- Fig. 94 : (a) Grés riche en matériel andésitique (Faciès du Mont)  
(b) Grés riche en matériel andésitique (Faciès du Mont N°2)
- Fig. 95 : Grés de Taveyenne riche en éléments volcaniques (Arbaron)
- Fig. 96 : Microfilon de tuf intrusif (tuffisite), secteur du Merdassier.
- Fig. 97 : Grés riche en ejecta vitreux (Col de La Pierre Carrée)
- Fig. 98 : Andésite à clinopyroxène et amphibole Crêt du Loup)
- Fig. 99 : Grés riche en matériel volcanique (Crêt du Loup)
- Fig. 100 : Diagramme de Wedepohl pour les roches volcaniques paléogènes des Alpes occidentales.



- Fig. 100 (a) : Diagramme de A.N. Streckeisen (modifié Wedepohl) pour les enclaves homoéogènes des laves des provinces méridionales.
- Fig. 101 : Le zonage des plagioclases dans les andésites et roches associées des provinces méridionales.
- Fig. 102 : Le zonage des plagioclases dans les laves du secteur de St. Antonin.
- Fig. 103 : Diagramme Or-Ab-An pour les feldspaths des manifestations calco-alcalines paléogènes des provinces méridionales.
- Fig. 104 : Diagramme K<sub>2</sub>O / An % dans les plagioclases des roches andésitiques et shoshonitiques.
- Fig. 105 : (1) et (2) : variations des éléments majeurs au contact verre / plagioclase.
- Fig. 106 : Variation du taux de Ba (PPM) en fonction de la basicité des plagioclases, dans les cristaux de plagioclase.
- Fig. 107 : Topographie du potassium dans le verre interstitiel des dacitoïdes du Massif de l'Estérel.
- Fig. 108 : Les pyroxènes des laves andésitiques et dacitiques des provinces méridionales dans le diagramme de Poldervaart et Hess).
- Fig. 109 : Diagramme de Letrerrier et Maury pour les clinopyroxènes des laves andésitiques et dacitiques des provinces méridionales.
- Fig. 110 : Diagramme Ti = f (SiO<sub>2</sub> roche hôte) pour les clinopyroxènes des laves calco-alcalines des provinces méridionales.
- Fig. 111 : Diagramme Al - Ti = f (Si) dans les clinopyroxènes des laves andésitiques des provinces méridionales.
- Fig. 112 : Différents stades de rétro-morphose de la hornblende dans les andésites.
- Fig. 113 : Les amphiboles des andésites et roches associées des provinces méridionales dans la classification de Leake.
- Fig. 114 : Représentation des amphiboles des andésites et dacites des provinces méridionales dans le diagramme de Leake (plan Na<sub>B</sub> = 0)
- Fig. 115 : Diagramme Al<sub>T</sub> fonction de Si et Fe/Mg = f (Fe) dans les amphiboles des laves calco-alcalines des provinces volcaniques méridionales.

- Fig. 116 : Représentation des amphiboles des laves calco - alcalines des provinces méridionales dans la classification de B.Bonin (1980).
- Fig. 117 : Diagramme de Jakes et White (1971) pour les amphiboles des laves calco - alcalines des provinces méridionales.
- Fig. 118 : Diagramme Fe / Ca = f (Co + Ni) pour les amphiboles des laves calco - alcalines des provinces paléogènes méridionales.
- Fig. 119 : Position des chlorites d'altération des biotites des rhyodacites des provinces méridionales.
- Fig. 120 : Composition du grenat des rhyodacites et des trondjémites de l'Estérel dans le diagramme Fe, Mg, Ca.
- Fig. 121 : Diagramme TiO<sub>2</sub>, FeO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> des minéraux opaques des laves calco-alcalines des provinces méridionales.
- Fig. 122 : Diagramme I.A.I.T des populations de zircon accessoire des manifestations calco - alcalines des provinces méridionales.
- Fig. 123 (a) à (z') Distribution typologique des populations de zircon accessoire dans les roches calco - alcalines paléogènes péri-alpines.
- Fig. 124 : Topographie du Ca dans un plagioclase albitisé (Champsaur)
- Fig. 125 : Diagramme Or - Ab - An des plagioclases des manifestations calco-alcalines paléogènes des provinces septentrionales.
- Fig. 126 : Points représentatifs des clinopyroxènes des provinces septentrionales dans le diagramme de Poldervaart et Hess (1951)
- Fig. 127 : Diagramme Al - Ti = f (Si) dans les pyroxènes des manifestations calco - alcalines des provinces paléogènes septentrionales.
- Fig. 128 : Diagramme de Letrerrier et Maury pour les clinopyroxènes des laves calco - alcalines paléogènes des provinces septentrionales.
- Fig. 129 : Représentation des amphiboles des laves calco - alcalines des manifestations paléogènes septentrionales dans la classification de Leake.



Fig. 130 : Projection sur le plan  $Na_B = 0$  des amphiboles des laves calco-alcalines paléogènes des provinces septentrionales.

Fig. 131 : Représentation des amphiboles des laves calco - alcalines des provinces septentrionales dans la classification de B.Bonin.

Fig. 132 : Diagramme Al fonction de Si et Fe/Mg fonction de Fe dans les amphiboles des laves calco - alcalines paléogènes des provinces septentrionales.

Fig. 133 : Diagramme  $TiO_2, FeO, Fe_2O_3$  des minéraux opaques des laves calco-alcalines paléogènes des provinces septentrionales.

Fig. 134 : Distribution typologique et point représentatif dans le diagramme I.A, I.T d'une population de zircons volcaniques extraite de grés riches en matériel volcanique du synclinal de Thônes.

Fig. 135 : Position de la microdiorite quartzique d'Alghero dans la représentation Q - A - P.

Fig. 135(a) : Distribution typologique des zircons de la roche d'Alghero.

Fig. 135(b) : Diagramme I.A, I.T de la roche d'Alghero et de quelques plutonites choisies à titre comparatif.

Fig. 136 : Position de l'ignimbrite de Capu Biancu dans la représentation Q - A - P.

Fig. 137 : Distribution typologique et point représentatif en I.A, I.T de l'ignimbrite de Capu Biancu.

Fig. 138 : Représentation des andésites de Biella dans le diagramme Q - A - P.

Fig. 138 (a) : Distribution typologique des populations de zircon accessoire (b) : des andésites de Biella.

Fig. 138(c) : Représentation en coordonnées I.A, I.T de deux andésites potassiques de Biella.

Tableau 5 : Composition moyenne des laves paléogènes péri - alpines occidentales.

Fig. 139 : Diagramme alcalins - silice de H.Kuno pour les laves des provinces méridionales.

Fig. 140 : Diagramme  $K_2O / SiO_2$  des laves paléogènes périalpines occidentales et orientales.

Tableau 6 : Andésites et roches associées mondiales

Fig. 141 : Diagramme  $Al_2O_3 / Na_2O + CaO$  des roches calco - alcalines mondiales.

Fig. 142 : Diagramme  $Al_2O_3 / Na_2O + CaO$  pour les laves calco-alcalines paléogènes des provinces méridionales péri-alpines.

Fig. 143 : Perturbations induites par le phénomène cumulatif dans les andésites sub-alpines et liguro-provençales.

Fig. 144 : Histogramme de variation du rapport  $Fe_2O_3 / Fe_2O_3 + FeO$

Fig. 145 : Diagramme  $Fe_{total} / MgO$  fonction de  $Fe_{total}$

Fig. 146 : Histogramme de variation du rapport  $Fe_2O_3 + FeO / MgO$  pour les laves calco - alcalines des provinces paléogènes péri - alpines méridionales.

Fig. 147 : Diagramme de variation des oxydes en fonction du S.I. de H.Kuno pour les laves des provinces paléogènes méridionales.

Fig. 148 : Diagramme F.M.A. pour les formations volcaniques calco - alcalines paléogènes des provinces méridionales.

Fig. 149 : Diagramme de G.A. Josplin pour les formations volcaniques calco-alcalines paléogènes des provinces méridionales.

Fig. 150 : Carte des valeurs de l'indice de Sugimura pour les laves andésitiques des provinces paléogènes méridionales.

Tableau 7 : Valeurs de l'indice de Sugimura pour les laves andésitiques des provinces paléogènes méridionales.

Fig. 151 : Diagramme  $Ba / SiO_2$  pour les roches calco - alcalines des provinces paléogènes péri - alpines méridionales.

Fig. 152 : Diagramme  $Ba / S.I.$  pour les provinces méridionales.

Fig. 153 : Diagramme  $Sr / SiO_2$  pour les provinces méridionales.

Fig. 154 : Diagramme  $Sr / S.I.$  pour les provinces méridionales.



Fig. 155 : Diagramme  $Rb/SiO_2$  pour les roches calco - alcalines des provinces paléogènes méridionales.

Fig. 156 : Diagramme  $Rb / S.I.$  pour les provinces méridionales.

Fig. 157 : Diagramme  $Sr / Rb$  pour les roches calco - alcalines des provinces paléogènes méridionales.

Fig. 157 b : Diagramme  $K / Rb$  des roches calco - alcalines paléogènes des provinces méridionales.

Fig. 158 : Diagramme  $Ni / Mg$  pour les provinces méridionales

Tableau 8 : Teneurs en éléments en traces dans les roches plutoniques et volcaniques liées au magmatisme paléogène des chaînes sub-alpines et du domaine liguro - provençal. Alcalins et alcalino - terreux.

Fig. 158 a : Diagramme  $Ni / S.I.$  pour les provinces méridionales

Fig. 159 : Diagramme  $V / S.I.$  pour les provinces méridionales.

Fig. 160 : Diagramme  $Ni / Co$  pour les roches calco - alcalines des provinces paléogènes méridionales.

Fig. 161 : Diagramme de C. Allègre pour les andésites des provinces paléogènes méridionales.

Fig. 162 : Diagramme de C. Allègre pour les andésites basiques et les enclaves gabbroïques des provinces paléogènes méridionales.

Fig. 163 : Géochimie comparative Marge active continentale et Arc dans le diagramme A-F-M, entre les laves étudiées et quelques séries mondiales.

Fig. 164 : Diagramme  $Ba / Rb$  pour les provinces paléogènes méridionales.

Fig. 165 : Variations du rapport  $87Sr/86Sr$  pour les roches calco - alcalines paléogènes des provinces méridionales.

Tableau 9 : Teneurs en éléments en traces dans les roches plutoniques et volcaniques liées au magmatisme tertiaire paléogène des chaînes sub - alpines et du domaine liguro - provençal (éléments de transition).

Tableau 10 : Compositions comparées de quelques andésites de marges actives et d'arcs insulaires mondiales avec des andésites des provinces liguro - provençale et sub - alpine méridionale (éléments alcalins et alcalino-terreux).

Fig. 166 : Diagramme  $MgO = f (Al_2O_3 / Na_2O + CaO)$  pour les laves paléogènes de la province helvético - savoyarde.

Fig. 167 : Diagramme Fetot. fonction de Fetot./ $MgO$

Fig. 168 : Diagramme de G.A. Joplin pour les laves andésitiques de la province helvético - savoyarde.

Fig. 169 : Diagramme alcalins - silice des laves de la province Helvético - savoyarde.

Fig. 170 : Diagramme  $K_2O / SiO_2$  des laves de la province helvético - savoyarde.

Fig. 171 - 172 : Diagramme de variation des oxydes en fonction du S.I. pour les roches de la province helvético-savoyarde.

Fig. 173 : Diagramme  $K_2O / SiO_2$  des laves paléogènes des provinces méridionales et de leur mésostase vitreuse.

Fig. 174 : Diagramme F.M.A. des laves calco - alcalines des provinces méridionales et de leur mésostase vitreuse.

Fig. 175 : Diagramme alcalins - silice des roches calco - alcalines paléogènes des provinces méridionales et de leur mésostase vitreuse.

Tableau 11 Compositions comparées roches totales /verres pour les roches calco - alcalines paléogènes des provinces méridionales  
Comparaison avec des andésites péruviennes.

Tableau 12 : Evolution des paragenèses minéralogiques en fonction de la différenciation dans les laves liguro - provençales et sub - alpines méridionales.

Tableau 13 Comparaison de trois enclaves homoéogènes grenues prélevées dans l'Estérellite avec des basaltes alumineux et des gabbros alpinotypes du massif de l'Adamello.

Fig. 176 : Schéma interprétatif des filiations pétrogénétiques entre les différentes manifestations du magmatisme calco - alcalin paléogène des provinces méridionales.

Fig. 177 : Couplage du géothermomètre 2 pyroxènes avec le plagioclase /verre dans le cas de deux pyroclastites.



Fig. 178 : Couplage du géothermomètre 2 pyroxènes et du plagioclase/verre dans une andésite basique de la province Ligure Provençale.

Fig. 179 : Couplage du géothermomètre 2 pyroxènes et du plagioclase/ verre dans une pyroclastite et une andésite basique de la province Liguro - Provençale.

Fig. 180 : Courbes  $T^{\circ}\text{C} = f. p$  ( $\text{H}_2\text{O}$ ) d'après le géothermomètre plagioclase verre pour des roches andésitiques des provinces méridionales.

Fig. 181 : Courbes  $T^{\circ}\text{C} = f.p \text{ (H}_2\text{O)}$  comparées avec le Pérou méridional.

Fig. 182 : Le géothermomètre Zircon

Tableau 14 : Températures de cristallisation obtenues sur les roches étudiées dans les provinces paléogènes méridionales par les géothermomètres.

Fig. 183 : Couplage du géothermomètre Zircon et du plagioclase /verre dans une andésite de la province sub-alpine méridionale.

Fig. 184 : Couplage du géothermomètre Zircon et du plagioclase /verre dans l'estérellite du Drammont.

Fig. 185 : Couplage du géothermomètre Zircon et du plagioclase /verre dans l'estérellite des Cou.

Fig. 187 : Evaluation de  $PO_2$  pour une andésite à olivine et deux pyroxènes de la province liguro-provençale.

Fig. 188 : Diagramme T°C fonction de SiO<sub>2</sub> dans les roches calco - alcalines des provinces méridionales.

Fig. 189 : Diagramme PH<sub>2</sub>O fonction de SiO<sub>2</sub> dans les roches des provinces méridionales.

Fig. 190 : Distribution typologique des populations de zircon des mélanges magmatiques du volcan Shirouma - Oike (Japon)

Fig. 191 : Diagramme alcalins -silice des matrices de nuées à blocs des provinces liguro - provençale et sub - alpine méridionale.

Tableau 15 : Analyses des matrices vitreuses de quelques nuées à blocaux.

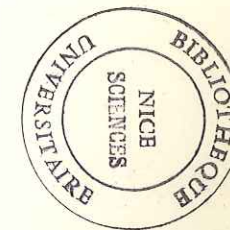
Fig. 192 : Esquisse de reconstitution pétrogénétique du magmatisme calco-alcalin des provinces paléogènes méridionales.

Fig. 193 : Modèle hypothétique d'interprétation génétique et géodynamique du volcanisme calco - alcalin paléogène des Alpes Franco - Italiennes

Lampophyres											Andesites <i>lato sensu</i>											
Samples	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	(21)	(22)
	MRO	MRO	MEC	MEC	MEC	CB	KAW	KAW	MEC	MEC	KAW	MEC	MEC	MEC	MEC	MEC	MEC	MRO	MRO	CB	KAW	KAW
1627	1698	242	242b	247	247	96	697b	1064	216	241	1433	214	239	240	246	251	319	1710	1729	118	695	697a
SiO <sub>2</sub>	56.0	54.85	49.33	50.22	56.03	49.37	60.35	59.07	60.45	60.05	53.96	53.28	63.27	63.07	49.53	59.28	59.16	54.01	53.12	48.58	52.97	53.69
TiO <sub>2</sub>	1.40	1.50	1.05	1.06	1.24	0.93	0.61	0.69	0.54	0.53	0.60	0.99	0.43	0.42	0.93	0.63	0.69	1.10	1.10	0.97	1.61	0.86
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8.9	8.87	11.28	10.76	10.98	13.44	14.80	16.54	17.38	17.27	14.33	17.07	16.98	17.06	15.58	17.49	16.50	15.15	17.23	16.13	17.45	17.66
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.0	2.05	1.63	1.81	2.21	1.51	4.13	5.69	2.06	2.14	1.98	2.07	1.32	0.69	1.06	1.64	2.25	1.33	1.33	3.72	1.35	2.96
FeO	3.3	3.76	4.60	5.23	2.65	5.69	1.84	0.60	3.12	3.39	5.25	5.10	3.61	3.97	5.70	3.48	3.45	5.76	6.68	5.15	8.49	3.50
MnO	0.11	0.18	0.10	0.11	0.09	0.16	0.07	0.09	0.11	0.10	0.15	0.15	0.10	0.11	0.12	0.11	0.09	0.17	0.16	0.17	0.18	0.15
MgO	9.4	9.54	13.61	12.87	9.27	10.92	1.81	1.88	2.04	2.10	7.52	5.32	1.13	1.08	4.59	2.85	4.04	6.66	4.96	6.53	4.32	2.55
CaO	4.2	4.33	7.65	6.43	4.11	8.32	4.77	4.23	4.34	3.76	8.91	7.31	2.26	3.23	7.91	5.08	5.22	8.00	6.83	12.40	8.27	7.77
Na <sub>2</sub> O	1.9	1.78	1.60	0.85	1.29	1.95	1.89	3.31	3.59	3.37	2.05	2.68	3.64	3.63	1.70	3.27	3.23	2.27	2.46	2.42	2.13	3.09
K <sub>2</sub> O	9.6	9.40	5.94	6.72	9.07	2.87	3.86	4.91	4.09	4.38	1.43	2.54	2.95	3.18	2.87	2.89	2.85	2.37	2.65	0.93	1.37	1.89
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1.2	1.40	1.10	1.19	1.09	0.70	0.57	0.53	0.37	0.37	0.26	0.39	0.23	0.22	0.28	0.18	0.19	0.47	0.27	0.67	0.26	0.37
LOI	1.6	2.05	2.34	2.46	1.78	3.47	4.66	2.81	2.10	2.35	3.29	3.24	4.00	3.56	9.72	2.93	2.27	3.04	3.07	2.64	1.58	5.24
Total	99.6	99.71	100.23	99.71	99.81	99.33	99.36	100.35	100.19	99.81	99.73	100.14	99.92	100.22	99.99	99.83	99.94	100.33	99.86	100.31	99.98	99.67
Li	20	23	32	33	42	23	11	22	14	23	18	29	13	13	53	19	15	13	19	10	29	17
Rb	371	400	245	325	496	126	193	216	159	199	38	88	102	88	90	87	74	84	94	23	43	58
Sr	580	1030	690	625	440	580	625	900	530	425	495	505	375	470	250	570	1020	465	nd	710	340	555
Ni	315	364	395	460	396	333	31	30	20	10	100	72	18	10	28	29	10	92	25	43	20	29
Cr	586	660	802	839	600	590	25	35	21	31	417	161	52	73	38	16	42	350	77	124	30	nd
Co	33	36	57	52	39	49	25	23	60	34	30	30	11	11	27	28	43	30	29	36	29	36
Cu	10	36	9	72	46	53	76	55	nd*	4	68	15	4	4	12	4	26	91	9	7	16	12
Zn	87	115	83	116	84	90	70	65	59	68	68	123	80	73	86	79	81	67	102	87	90	74
V	110	80	125	125	95	160	150	125	85	80	215	140	20	20	165	100	148	190	205	255	315	175
Nb	40	54	26	28	30	17	18	37	22	27	8	13	11	15	12	10	8	15	11	10	11	14
Zr	730	854	375	450	592	236	253	358	356	364	106	175	218	215	142	151	198	125	120	128	124	200
Y	52	68	36	46	47	32	36	42	39	37	19	32	24	25	30	26	25	25	29	25	50	35
K/Rb	215	195	201	172	152	189	166	189	213	183	312	240	240	300	265	276	320	234	234	336	264	270
Rb/Sr	0.64	0.39	0.35	0.52	1.13	0.22	0.31	0.24	0.30	0.47	0.08	0.17	0.27	0.19	0.36	0.15	0.07	0.18	nd	0.03	0.13	0.10

MRO1627→MEC 247: high-K lamprophyres; CB96: lamprophyre; KAW697b→MEC241: shoshonitic group; KAW1433→KAW697a: high-K calc-alkalic group; nd: not determined

Sample location in Fig. 1. Major elements of sample MRO 1627 (1) from Dal Piaz *et alii* (1973).





## R E S U M E

Les Alpes Occidentales ont été le siège, au Paléogène, d'un volcanisme andésitique dont l'autochtonie est actuellement établie.

Les formations volcaniques jalonnent l'arc alpin, en position externe: (Thônes, Taveyanne, Saint-Antonin, Barrême, région de Nice, Estérel), ou interne (Biellese, Canavese en Italie du Nord).

Dans le contexte de collision entre les plaques Européenne et Sud Alpines, le domaine océanique Piémontais s'est semblé -t- il comporté à la manière d'un océan sialique et le volcanisme calco - alcalin s'est manifesté à la faveur d'une double subduction du matériel océanique. L'entraînement de croûte continentale sialique dans l'enfoncement de domaine océanique pourrait alors expliquer l'enrichissement en Potassium des magmas andésitiques qui se sont épanchés de part et d'autre de la chaîne.

## A B S T R A C T

A calc - alkaline volcanism took place, during the Paleogene, in the Western Alps (Thônes, Taveyanne, Saint - Antonin, Barrême, Nice area and Esterel Massif), in there foreland and in Northern part of Italia ( Biella area and Canavese).

The volcanic formations autochtony is now admitted. The volcanism, especially the explosive one has deposited large quantity of pyroclastic material.

During the collision phenomena between the European and South Alpine plates, the Piemont Ocean took place of an "sialic ocean".

Here is presented a geodynamical pattern for a better alpine volcanism understanding in wich the driving of sialic material in the double subduction of "Piemont Ocean" can explain the K - enrichment of andesitic magmas.

Mots clés : Arc , andésites , Alpes Occidentales, chaîne alpine, collision, océan calco - alcalin, paléogène, sub - alpin, Italie du Nord.